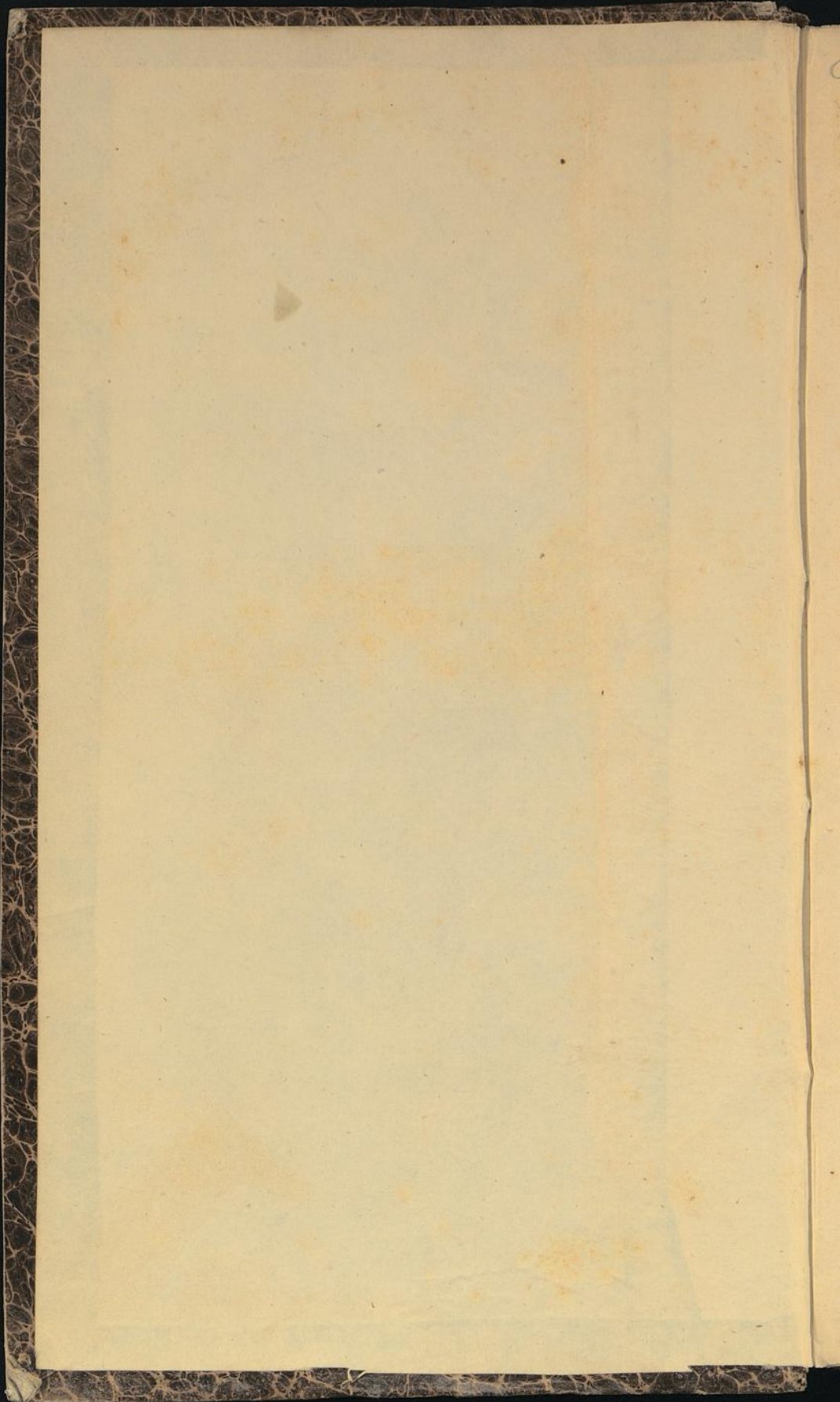


18
186.





opl. du.

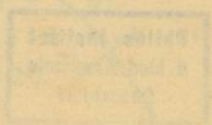
TB
a
3

+ 12728 9/R

62^b

Persisch-deutsches
Wörterbuch

Vierter Band



~~Philos. Institut
d. Med. Akademie
Düsseldorf~~

64/2204



Johann Samuel Traugott Gehler's

Physikalisches

Wörterbuch

neu bearbeitet

von

Brandes. Gmelin. Horner. Muncke. Pfaff.

Vierter Band.

Erste Abtheilung.

F.

Mit Kupfertafeln I bis IX.

Leipzig,

bei E. B. Schwickert.

1827.

19

slg 5

1431

1261 247 01

Physikalisches Wörterbuch

IV. Band.

Erste Abtheilung.

F.

Physikalisches Wörterbuch

IV. Band

Erste Abtheilung

F.

F.

Fäulnis.

Putrefactio; putrefaction; putrefaction. Die meisten organischen Verbindungen des Pflanzen- und Thierreichs erleiden bei Gegenwart von Wasser und Luft eine Zersetzung, bei welcher sie, indem der Sauerstoff der Luft, des Wassers und der organischen Verbindung selbst, mit dem Kohlenstoff und zum Theil auch mit dem Wasserstoff und Stickstoff, desgleichen der Wasserstoff der organischen Verbindung mit dem Kohlenstoff und mit dem Stickstoff derselben, sich vereinigt, in unorganische Verbindungen, wie in Kohlensäure, Kohlenoxyd, Wasser, Salpetersäure, Kohlenwasserstoffgas, Ammoniak, desgleichen in einfache Stoffe, wie in Wasserstoffgas und Stickgas zerfallen. Geht eine solche Selbstentmischung organischer Körper rasch, unter Entwicklung übelriechender Dämpfe und Gase, vor sich, so wird sie *Fäulnis* genannt, *Verwesung* oder *Vermoderung*, wenn sie langsamer erfolgt, *Gährung*, wenn sich zu einer gewissen Zeit nützliche Zwischenproducte, wie Weingeist und Essigsäure, in größerer Menge erzeugen.

G.

Fall der Körper.

Descensus s. lapsus corporum gravium; Chûte des corps graves; Fall of gravitating bodies.

Da die anziehende Kraft der Erde oder die Kraft der Schwere alle Körper gegen die Erde zu treibt, so üben sie, so lange sie unterstützt werden, einen Druck auf die Unterlage aus, und wenn sie nicht unterstützt werden, bewegen sie sich, jener Einwirkung gemäß, gegen die Erde, sie *fallen*. Dieses Herabsinken der Körper gegen den Mittelpunct der Erde ist entweder ein *freies Fallen*, wenn der Körper der Einwirkung der Schwere ganz ungehindert folgen kann, oder ein *Fallen*

A 2

auf vorgeschriebenem Wege, wenn ein fester Widerstand ihn nöthigt, seine Annäherung zur Erde in einer andern, von der Richtung der Schwere abweichenden, Richtung zu vollenden.

Freier Fall der Körper.

(*descensus liber, la chute libre.*)

1. Schon eine oberflächliche Erfahrung zeigt, daß die Körper, wenn sie durch den Widerstand der Luft nicht zu sehr aufgehalten werden, mit immer größerer Geschwindigkeit fallen, je tiefer sie schon gefallen sind, daß die Schwere also immer fort beschleunigend auf ihre Bewegung wirkt. Wiefern diese Einwirkung der Schwere auf alle Körper gleich oder verschieden sey, darüber geben die gewöhnlichen Erfahrungen nicht so unmittelbar Aufschluß, indess läßt sich doch durch Schlüsse wohl zu der Ueberzeugung gelangen, daß die durch die Schwere ertheilte Geschwindigkeit bei ungleichen Massen gleich seyn muß, wenn die Zeit der Einwirkung gleich ist. Denn wenn gleich die größere Masse einen größern Druck ausübt, und folglich durch die Schwere zum Falle angetrieben eine größere *bewegende* Kraft zeigt, so ist dagegen auch die in Bewegung gesetzte Masse in eben dem Verhältniß größer; oder mit andern Worten, niemand wird zweifeln, daß zehn einzelne Pfunde gleich schnell fallen, und also auch nicht, daß sie in eine Masse vereinigt noch eben so schnell fallen werden. Ob die verschiedenartigen Materien von der Erde mit ungleicher Gewalt angetrieben werden, sich herab zu bewegen, bliebe dabei freilich unentschieden; aber die Erfahrung spricht auch dagegen, indem theils der Versuch im luftleeren Raume ein gleiches Fallen der Feder und der Bleikugel zeigt, theils die Berechnung des Widerstandes der Luft über den langsamen Fall specifisch leichter Körper in der Luft vollkommen hinreichenden Aufschluß giebt.

2. Ob die Schwere eine vollkommen *gleichförmig* beschleunigende Kraft ist, das heißt, ob sie dem Körper, er mag schon eine große Geschwindigkeit erlangt haben oder nicht, immer noch gleiche Vergrößerung der Geschwindigkeit ertheilt, läßt sich zwar aus theoretischen Gründen nicht voraussehen; aber da diese Hypothese die einfachste ist, und sich leicht übersehen läßt, daß sie zu Gesetzen des Falles, die sich durch Erfahrung

prüfen lassen, hinführen wird, so ist es am natürlichsten, sie zum Grunde der Rechnung zu legen. Dieser Hypothese gemäß nimmt die Geschwindigkeit in gleichen Zeiten um gleich viel zu, und ist also, wenn im Anfange die Geschwindigkeit $= 0$ war, der Zeit $= t$ proportional, also $= kt$, wo k offenbar die Geschwindigkeit bedeutet, welche der Körper am Ende des ersten, als Einheit angenommenen Zeittheils z. B. der Secunde erlangt. Aus diesem Gesetze, daß die Geschwindigkeit am Ende der zweiten Secunde doppelt so groß, am Ende der dritten Secunde dreimal so groß, als am Ende der ersten Secunde ist, läßt sich leicht der in irgend einer Zeit durchgelaufene Raum bestimmen. Denn gesetzt, die Geschwindigkeit, die am Anfang der ersten Secunde $= 0$ war, sey am Ende der ersten Secunde $= 30$ Fufs, so ist es so gut, als ob der Körper sich die ganze Secunde durch mit der mittlern Geschwindigkeit $= 15$ fortbewegt hätte. Ist die Geschwindigkeit am Anfange der zweiten Secunde $= 30$ Fufs, am Ende derselben $= 60$ Fufs, so ist 45 der Raum, durch welchen der Körper wirklich in dieser Secunde fällt. Eben so sind 60 und 90 die Geschwindigkeiten am Anfange und am Ende der dritten Secunde, und 75 Fufs der Fallraum in dieser Secunde. Diese Voraussetzung, daß der gleichförmig beschleunigte Körper genau so weit fortgehe, als es dem arithmetischen Mittel zwischen der Anfangs- und Endgeschwindigkeit gemäß ist, läßt sich leicht als strenge richtig nachweisen. Denn da, wenn man die Secunde in hundert Theile theilt, am Ende des funfzigsten Hunderttels die Geschwindigkeit $= \frac{1}{2} k$ ist, wenn sie am Ende der ganzen Secunde $= k$ wird, da sie am Ende des 49sten Hunderttels $= \frac{1}{2} k - \frac{1}{100} k$ und am Ende des 51sten Hunderttels $= \frac{1}{2} k + \frac{1}{100} k$ ist, so erhellet leicht, daß $\frac{1}{2} k$ die richtige Geschwindigkeit für das 50ste und 51ste Hunderttel, aber eben so gut auch für das 49ste, 50ste, 51ste und 52ste Hunderttel ist, und so für die ganze Secunde als richtig nachgewiesen werden kann.

3. Diese einem jeden verständliche Erörterung läßt sich rechnend weit kürzer fassen. Ist die Zunahme der Geschwindigkeit $= dv$ während der Zeit $= dt$ dieser Zeit proportional, also $dv = k dt$, wo k einen beständigen Factor bedeutet, so ist $v = kt + c$, die am Ende der Zeit $= t$ erlangte Geschwindigkeit, und diese Gleichung ist nun auf alle Umstände passend, weil bei der Integration die unbestimmte beständige Größe c bei-

gefügt ist. Diese ist $= 0$, wenn der Körper ohne alle anfängliche Bewegung zu fallen anfing; sie ist positiv, wenn dem Körper schon im ersten Augenblicke eine Geschwindigkeit nach der Richtung, nach welcher die Schwere wirkt, ertheilt wurde; sie ist negativ, wenn im Anfange der Zeit t der Körper eine Geschwindigkeit, der Richtung der Schwere entgegengesetzt, hatte. Da nun die Zunahme $= ds$ des durchlaufenen Weges $= s$ der Geschwindigkeit v und den Zeittheilchen $= dt$, in welchen ds durchlaufen wird, proportional, d. h. $ds = v dt = kt dt + c dt$ ist, so wird $s = \frac{1}{2}kt^2 + ct + \text{Const.}$, wo aber die neue hinzukommende Constante $= 0$ gesetzt wird, wenn man den Weg des Körpers von da an rechnet, wo dieser sich befand, als $t=0$ war.

4. Betrachten wir hier zuerst den Fall, da die anfängliche Geschwindigkeit $c=0$ war, so ist $s = \frac{1}{2}kt^2$, oder wenn $\frac{1}{2}k = g$, $s = gt^2$ und g bedeutet den durchlaufenen Fallraum in der ersten Zeiteinheit, weil für $t=1$, $s=g$ aus der Formel folgt. *Der Fallraum ist also dem Quadrate der Zeit proportional.* Eine Folgerung, die sich schon aus der einfachen Betrachtung in No. 2 ergibt; denn da dort der Fallraum in der ersten Secunde oder im Allgemeinen in der ersten Zeiteinheit $= \frac{1}{2}k$; in der zweiten $= \frac{4}{2}k$, in der dritten $= \frac{9}{2}k$, in der vierten $= \frac{16}{2}k$, u. s. w. ist, so ist der Weg in 1 Secunde, die wir als Zeiteinheit beibehalten wollen, $= \frac{1}{2}k$; in den 2 ersten Secunden $= \frac{4}{2}k$; in den 3 ersten Secunden $= \frac{9}{2}k$; in den 4 ersten Secunden $= \frac{16}{2}k$; u. s. w. welches offenbar Räume, den Quadraten der Zeiten proportional, sind, die nach eben dem Gesetze auch ferner fortschreitend gefunden werden könnten. Die beiden Formeln $s = gt^2$, $v = kt = 2gt$ enthalten die ganze Theorie der ohne Anfangsgeschwindigkeit gleichförmig beschleunigten Bewegung. Aus ihnen folgt, weil $t = \sqrt{\frac{s}{g}}$ ist,

$v^2 = 4gs$ oder $s = \frac{v^2}{4g}$. Die erlangte Geschwindigkeit ist

also der Quadratwurzel aus dem durchlaufenen Wege proportional, so daß sie, wenn der Körper im Falle die vierfache Tiefe erreicht hat, doppelt so groß ist, als sie war, indem er die einfache Tiefe erreichte. Da die erlangte Geschwindigkeit $= v = 2\sqrt{gs}$ durch den Fallraum vollkommen bestimmt ist, so nennt man diesen Fallraum auch; *die der Geschwindigkeit v*

zugehörige Höhe. Tafeln dafür finden sich den meisten Logarithmentafeln beigelegt.

5. Die Größe g muß durch Erfahrung bestimmt werden, und dazu könnten Versuche über den Fall bleierner Kugeln allenfalls dienen, indem ein genau abgemessener Fallraum und die mit Hilfe einer Tertienuhr bestimmte Fallzeit zusammengehörige Werthe von s und t angäben, mit deren Hilfe g bestimmt würde; Versuche über den Fall aus ungleichen Höhen würden zugleich entscheiden, ob das hypothetisch der Rechnung zum Grunde gelegte Gesetz das richtige sey¹. Indefs bedürfen wir dieser Bestimmung für den Werth von g nicht, da Pendelversuche ihn viel genauer geben.

6. Wenn der vertical herabwärts bewegte Körper schon eine anfängliche Geschwindigkeit $= c$ hatte, so ist nach Verlauf der Zeit $= t$ die Geschwindigkeit um eben so viel größer geworden, als bei einem ohne Anfangsgeschwindigkeit begonnenen Falle, und der Fallraum ist so groß, wie er seyn würde, wenn die beiden Wege, die der Anfangsgeschwindigkeit allein, und dem freien der Schwere gemäßen Falle allein entsprächen, zusammen genommen würden. Jener ist $= ct$, dieser $= gt^2$.

Man könnte auch hier auf ganz populäre Weise die erlangte Geschwindigkeit und den durchlaufenen Raum bestimmen. Es sey z. B. die Anfangsgeschwindigkeit so groß, daß sie allein den Körper durch 100 Fufs in der Secunde treiben würde, und sie nehme, vermöge der Einwirkung der Schwere um 30 Fufs in der ersten Secunde zu, so ist

Anfangsgeschwindigkeit in dieser Secunde = 100 Fufs,

Endgeschwindigkeit = 130 —

mittlere Geschwindigkeit = 115 —

und dieses ist zugleich der in der ersten Secunde durchlaufene Weg. Ferner in der zweiten Secunde nimmt abermals die Geschwindigkeit um 30 Fufs zu, also

Anfangsgeschwindigkeit in der 2ten Secunde = 130 Fufs,

Endgeschwindigkeit = 160 —

mittlere Geschwindigkeit = 145 —

¹ Benzenberg's Versuche (Versuche über das Gesetz des Falles, die Umdrehung der Erde u. s. w. S. 196.) könnten, selbst wenn man den Widerstand der Luft nicht beachtete, beides ziemlich nahe bestimmen.

und dieses ist der Weg in der zweiten Secunde, also in den 2 ersten Secunden zusammen = $115 + 145 = 260$ Fufs, welches die 200 Fufs wegen der Anfangsgeschwindigkeit in 2 Secunden, und die 60 Fufs wegen der Falltiefe in 2 Secunden sind, und so für jede folgende Secunde.

7. Wurde der Körper vertical aufwärts geworfen, so ist c negativ und sein herabwärts durchlaufener Weg vom Anfange der Zeit = t an, ist

$$s = gt^2 - ct; \text{ seine Geschwindigkeit } v = 2gt - c.$$

So lange hier t einen geringen Werth hat, ist der durchlaufene Weg negativ, also ein aufwärts durchlaufener, und auch die Geschwindigkeit negativ oder eine aufwärts gerichtete. Sobald

die Zeit so groß geworden ist, daß $2gt = c$, oder $t = \frac{c}{2g}$, ist

die Geschwindigkeit = 0, der Körper hört auf zu steigen, und hat dann den Weg = $g \cdot \frac{c^2}{4g^2} - \frac{c^2}{2g} = -\frac{c^2}{4g}$, zurückgelegt.

Er bedarf nun einer eben so langen Zeit, um herabzufallen, denn nach der doppelten Zeit ist sein durchlaufener Weg = 0, oder er ist zu dem Punkte, von dem er ausging, zurückgekehrt, näm-

lich wenn $t = \frac{c}{g}$ ist. Alsdann hat er die Geschwindigkeit

$$= 2g \cdot \frac{c}{g} - c = +c \text{ erlangt, und erreicht also den Punkt}$$

mit eben der herabwärts gehenden Geschwindigkeit, mit welcher er hinaufwärts geworfen worden war.

In jeden Punkt seines Weges gelangt er auf gleiche Weise beim Herabfallen mit eben der Geschwindigkeit, die er im Aufsteigen eben dort hatte. Denn damit s einen bestimmten Werth hinaufwärts = $-s'$ erreiche, muß $-s' = gt^2 - ct$, also

$$t = \frac{c}{2g} \pm \frac{\sqrt{(c^2 - 4gs')}}{2g}$$

seyn, und nach Verlauf dieser Zeit ist die Geschwindigkeit

$$v = 2gt - c = \pm \sqrt{(c^2 - 4gs')},$$

im Steigen eine eben so große negative, als sie im Fallen positiv ist.

Die Differentialgleichung ergiebt den größten Werth, welchen s erlangen kann, indem man aus $s = gt^2 - ct$ erhält

$ds = (2gt - c) dt$, welches für $t = \frac{c}{2g}$ verschwindet, und

dann $s = \frac{c^2}{4g} - \frac{c^2}{2g} = -\frac{c^2}{4g}$ giebt.

8. Die Erfahrung hat gezeigt, daß die Körper nicht an allen Orten der Erde gleich schnell herabfallen, und die Theorie giebt den Grund an, warum die Rotation der Erde die Schwerkraft unter dem Aequator mehr, als in andern Puncten der Erdoberfläche schwächt; g hat also selbst nahe an der Oberfläche der Erde nicht einen völlig constanten Werth, sondern hängt von der geographischen Breite ab. Die genauere Untersuchung über die strenge Bestimmung dieses Werthes gehört in den Art. *Pendellänge*; ich bemerke daher nur, daß nach einer sehr sorgfältigen Reihe von Beobachtungen von BIOT, KATER, HALL und SABINE folgendes hervorgeht¹.

Die Länge des Secundenpendels ist unter dem Aequator an der Oberfläche des Meeres

$$= 39,01520 \text{ engl. Zolle}^2$$

$$= 0,990864 \text{ Meter}$$

$$= 36,60385 \text{ Paris. Zolle.}$$

In andern Breiten nimmt die Pendellänge so zu, daß man, wenn jene Länge $= l$ heißt, an jedem Orte an der Meeresfläche die Pendellänge $= l [1 + 0,00519 \cdot \sin^2 \varphi]$ findet, wenn φ die geographische Breite ist.

Aus der Theorie des Pendels läßt sich beweisen³, daß die Fallhöhe $= g$, in der ersten Secunde $= \frac{1}{2}l \cdot \pi^2 = \frac{1}{2}l \cdot 9,869605$ also am Aequator $= 16,0443$ engl. Fufs,

$$= 15,0527 \text{ Par. —}$$

in 45 Grad Breite

$$= 16,08596 \text{ engl. Fufs}$$

$$= 15,09176 \text{ Paris. — ist.}$$

9. Die bisherigen Betrachtungen setzten voraus, daß die Schwerkraft oder die Attraction der Erde unveränderlich sey,

¹ Philos. Transact. for 1823. p. 211. 303. 1818. p. 33. 103. 1821. 163. Journal de Physique. 1820. Janvier. Vorzüglich aber An Account of Experim. to determine the figure of the Earth by means of the pendulum etc. by Sabine. London 1825.

² Galbraith will dafür lieber 39,0126 setzen. Philos. Magazin. 67. p. 161.

³ Vergl. unten No. 13.

während der Körper sich der Erde nähert, und diese Voraussetzung ist ohne merkliche Fehler richtig, wenn der fallende Körper nur so große Räume durchläuft, wie es bei unsern Beobachtungen auf der Erde vorkommt. Wenn dagegen der Körper sich von sehr großen Höhen herab zur Erde bewegte, so müßte man Rücksicht darauf nehmen, daß die Bewegung des Körpers, indem er dem anziehenden Körper näher kommt, stärker beschleunigt wird. Ich sehe hier die Erde als eine Kugel vom Halbmesser $= r$ an, und nehmen an, der Körper befinde sich in der Entfernung $= x$ vom Mittelpunkte der Erde; dann ist, nach den Gesetzen der anziehenden Kräfte, in dieser Entfernung die auf ihn wirkende beschleunigende Kraft $= \frac{r^2}{x^2}$, wenn sie $= 1$ ist an der Oberfläche der Erde; und wenn g der in einer Secunde an der Oberfläche der Erde durchlaufene Weg frei fallender Körper ist, so hat man

$$dv = + 2g \cdot \frac{r^2}{x^2} dt$$

und $v dv = - 2g \frac{r^2 dx}{x^2}$, weil hier $v = - \frac{dx}{dt}$ positiv für abnehmende x ist.

Die Integration giebt

$$v^2 - c^2 = 4gr^2 \left(\frac{1}{x} - \frac{1}{a} \right),$$

wenn die Bewegung in der Entfernung $x = a$ vom Mittelpunkte der Erde mit der Geschwindigkeit $= c$ anfing. Der Körper erreicht also die Oberfläche der Erde mit der Geschwindigkeit

$$v = \sqrt{c^2 + 4gr^2 \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{a} \right)}.$$

Da $v = \pm \sqrt{c^2 + \frac{4gr^2(a-x)}{ax}}$, so erhellet, daß in der Entfernung $= x$ die Geschwindigkeit einen eben so großen positiven Werth erhält, wenn der aufwärts steigende Körper in der Entfernung $= a$ die Geschwindigkeit $= c$ erlangen soll, als der negative Werth ist, wenn er in eben der Entfernung die Geschwindigkeit $= c$ hatte und von da seine Bewegung anfing. Wenn der Körper keine anfängliche Geschwindigkeit hatte, oder $c = 0$ war, ist allgemein

$$v = \pm \sqrt{4gr^2 \left(\frac{a-x}{ax} \right)}.$$

Um die Zeit des Falles zu bestimmen, muß man die Gleichung

$$dt = \frac{-dx}{v} = \frac{-dx}{2r} \sqrt{\frac{a}{g}} \cdot \sqrt{\frac{x}{a-x}}$$

integriren. Man gelangt dazu am kürzesten, wenn man

$$\frac{-x dx}{\sqrt{(ax-x^2)}} = d \cdot \sqrt{(ax-x^2)} - \frac{\frac{1}{2} a dx}{\sqrt{(ax-x^2)}}$$

setzt, wo dann

$$t = C + \frac{1}{2r} \sqrt{\frac{a}{g}} \left\{ \sqrt{(ax-x^2)} - \frac{1}{2} a \int \frac{dx}{\sqrt{(ax-x^2)}} \right\}$$

$$\text{odert } t = C + \frac{1}{2r} \sqrt{\frac{a}{g}} \left\{ \sqrt{(ax-x^2)} - \frac{1}{2} a \int \frac{dx}{\sqrt{\left(\frac{1}{4} a^2 - \left(\frac{1}{2} a - x\right)^2\right)}} \right\}$$

$$t = C + \frac{1}{2r} \sqrt{\frac{a}{g}} \left\{ \sqrt{(ax-x^2)} - \frac{1}{2} a \text{Arc. Cos. } \frac{a-2x}{a} \right\},$$

welches, wenn $t=0$ für $x=a$, war in

$$t = \frac{1}{2r} \sqrt{\frac{a}{g}} \left\{ \sqrt{(ax-x^2)} + \frac{1}{2} a \text{Arc. Cos. } \frac{2x-a}{a} \right\}$$

übergeht, weil $C = \frac{1}{2r} \sqrt{\frac{a}{g}} \cdot \frac{1}{2} a \pi$,

aber $\pi - \text{Arc. Cos. } \frac{a-2x}{a} = + \text{Arc. Cos. } \frac{2x-a}{a}$, ist.

Wenn der Körper auf der Oberfläche der Erde ankommt, ist

$$t = \frac{1}{2r} \sqrt{\frac{a}{g}} \left\{ \sqrt{(ar-r^2)} + \frac{1}{2} a \text{Arc. Cos. } \frac{2r-a}{a} \right\}.$$

Man hat gefragt, wann und mit welcher Geschwindigkeit der Körper im Mittelpuncte der anziehenden Kraft ankomme. In physikalischer Beziehung ist diese Frage eine ganz unnütze, da es keine Punkte sind; die eine endliche anziehende Kraft ausüben, und bei Körpern das Gesetz der Attraction im Innern des Körpers ein andres wird. Will man bloß zur Uebung in der Analysis die Frage beantworten, so wird erstlich für $x=0$

$$t = \frac{a}{4r} \sqrt{\frac{a}{g}} \cdot \text{Arc. Cos. } -1 = \frac{\pi a \sqrt{a}}{4r \sqrt{g}};$$

v aber wird

$$= 2r \sqrt{\frac{g}{a}} \cdot \sqrt{\frac{a}{x}}, \text{ also unendlich, weil } x=0 \text{ ist.}$$

Die Frage, wie der Körper seine Bewegung über den Mittelpunct hinaus fortsetze, läßt sich aus der Formel nicht beantworten, aber eine leichte Ueberlegung über die Natur der Sache beantwortet sie. Da nämlich, wie oben erwähnt ist, der

sich vom Mittelpuncte entfernende Körper genau eben so seine Geschwindigkeit verliert, wie der sich nähernde Körper an Geschwindigkeit gewinnt, so muß auch der durch den Mittelpunct hindurch gehende Körper in irgend einer Entfernung = x wieder eben die Geschwindigkeit haben, die er vorher in der Entfernung = x hatte, die unendliche Kraft gab ihm die unendliche Geschwindigkeit und zerstört sie auch wieder. Die Frage, wie er seine Bewegung fortsetze, ist damit völlig beantwortet.

Die Formel kann sie darum nicht auflösen, weil $\frac{r^2}{x^2}$ als eine beschleunigende Kraft erscheint sowohl für positive, als für negative x , und daher die Formel nicht mehr anwendbar bleibt über den anziehenden Punct hinaus. Wenn die beschleunigende Kraft auch jenseits des Mittelpunctes noch beschleunigend bliebe, nicht verzögernd würde, so müßte der schon im Mittelpuncte erlangte unendlichen Geschwindigkeit noch etwas hinzugefügt werden, und da so etwas durch keine Formel ausgedrückt werden kann, so weist die Formel durch ihr Unmöglichwerden die weitere Betrachtung der Bewegung zurück. Busse's Bemühung, die Analysis hier so zu behandeln, daß sie ihre Anwendbarkeit auch jenseits des Mittelpuncts zeige, verdient zwar recht viel Lob als achtungswerthe *Bemühung*; aber der Zweck scheint damit doch nicht erreicht zu seyn. Denn wenn man sogleich mit der Formel

$$\frac{dv}{2g dt} = \begin{matrix} + & \left(\frac{r}{x}\right)^2 & \text{diesseits} \\ - & & \text{jenseits} \end{matrix}$$

anfängt, so thut man doch in der That nichts anders, als daß man die Betrachtung sogleich mit derjenigen Rücksicht doppelt führt, die Busse als eine *petitio principii*¹ den übrigen Mathematikern vorwirft. Mir scheint das, was MOLLWEIDE hierüber sagt², ganz richtig.

10. Die Frage kommt in der Wirklichkeit gar nicht vor, sondern sobald der fallende Körper in das Innere des anziehenden Körpers (auch ohne Widerstand) eindringt, ist die anziehende Kraft vermindert und bei Kugeln dem Abstände vom Mittelpuncte direct proportional, also im Mittelpuncte selbst = 0.

Es sey die beschleunigende Kraft an der Oberfläche der

1 Gilb. Ann. LXX, 413.

2 Gilb. Ann. LXX, 425.

Erde = 1, der Fallraum in der ersten Secunde = g , der Halbmesser der Erde = r , der veränderliche Abstand des fallenden Körpers vom Mittelpuncte = x , so ist im Innern der Erde

$$dv = 2g dt \cdot \frac{x}{r},$$

$$v dv' = - \frac{2g}{r} x dx,$$

$$v^2 = c^2 - \frac{2gx^2}{r} + 2gr,$$

wenn die Geschwindigkeit = c war für $x=r$, und demgemäß die Constante bei der Integration schon bestimmt ist. Ich will $c = 0$ setzen und also

$$v = \sqrt{\frac{2g}{r}} \cdot \sqrt{(r^2 - x^2)},$$

$$dt = \frac{-dx}{\sqrt{(r^2 - x^2)}} \sqrt{\frac{r}{2g}}.$$

$$t = \sqrt{\frac{r}{2g}} \left\{ C + \text{Arc. Cos. } \frac{x}{r} \right\}$$

wo die Const. = 0 ist, wenn im Anfange der Zeit t , der Werth von $x = r$ war.

Die Geschwindigkeit im Centro der Erde ist also = $\sqrt{2gr}$, und die Zeit des Falles von der Oberfläche bis zum Mittelpuncte = $\frac{1}{2}\pi \sqrt{\frac{r}{2g}}$. Hier ist also alles leicht verständlich und der Natur der Sache gemäß.

11. Ich habe bisher immer die Richtung des Falles als gegen den Mittelpunct der Erde gerichtet angesehen; aber dieses ist sie jedoch nur auf der Kugel, nicht auf der sphäroidischen Erde. Es sey der Halbmesser des Aequators = a , die halbe Erdaxe = b , die geographische Breite des Ortes = φ , der Halbmesser der Erde an dieser Stelle = r , so trifft die Richtungslinie des freien Falles, (welche nämlich mit der Normallinie des Sphäroids zusammenfällt,) die Ebene des Aequators in einer Entfernung = $r \text{ Cos. } \varphi - \frac{b^2 r \text{ Cos. } \varphi}{a^2}$, vom Centro der Erde.

Der Winkel = ω , den die Normallinie mit dem Radius einschließt, ist durch $\text{Sin. } \omega = \frac{r \cdot \text{Cos. } \varphi \cdot (a^2 - b^2)}{a^2 \cdot r} \text{ Sin. } (\varphi + \omega)$

gegeben, also hier, wo höhere Potenzen von $\text{Sin. } \omega$ ganz unbedeutend sind,

$$\text{Sin. } \omega = \frac{(a^2 - b^2)}{a^2} (\text{Sin. } \varphi \cdot \text{Cos. } \varphi + \text{Cos. }^2 \varphi \cdot \text{Sin. } \omega)$$

$$\text{Sin. } \omega = \frac{(a^2 - b^2)}{a^2 \text{Sin.}^2 \varphi + b^2 \text{Cos.}^2 \varphi} \text{Sin. } \varphi \cdot \text{Cos. } \varphi$$

ein Ausdruck, der unter 45 Gr. Breite $\text{Sin. } \omega = \frac{a^2 - b^2}{a^2 + b^2}$, also

für $b = \frac{288}{289}$, $\text{Sin. } \omega = 0,00347 = 0^\circ. 12'$ giebt. Am Pole

und auf dem Aequator fällt die Normallinie mit der nach dem Mittelpuncte gehenden genau zusammen. Wollte man im Innern der Erde der Richtung der Schwere immer folgen, so müßte man eine krumme Linie, nämlich die rechtwinkliche Trajectorie der elliptischen Gleichgewichtsschichten, verfolgen¹.

Geschichte der Bestimmung dieser Gesetze.

12. ARISTOTELES und seine Nachfolger glaubten, die schweren Körper fielen im Verhältniß ihres Gewichtes schneller, also ein Körper von 10 \mathcal{L} zehnmal so schnell als ein Körper von 1 \mathcal{L} Gewicht. Dieser leicht zu widerlegende Irrthum erhielt sich dennoch, weil man keine Versuche anstellte, im Ansehen, bis GALILEI theils durch eigene Versuche, theils durch Schlüsse, die Unrichtigkeit jener Behauptung zeigte. Er liefs nämlich Körper von ungleichen Gewichten aus sehr beträchtlicher Höhe herabfallen, und fand, daß sie fast gleichzeitig den Boden erreichten.

Ueber das Gesetz der Beschleunigung war man vor GALILEI eben so wenig unterrichtet. Die Meinung, daß die Geschwindigkeit dem schon durchlaufenen Wege proportional sey, hatte selbst GALILEI lange Zeit als wahrscheinlich angesehen, obgleich eine gar nicht schwierige Ueberlegung zeigt, daß dieses Gesetz eine Unmöglichkeit in sich schließt, indem danach der Körper, wenn er noch gar keinen Raum durchlaufen hat, weder Geschwindigkeit haben, noch Geschwindigkeit erlangen kann, und folglich unverrückt an demselben Orte bleibe. GALILEI

¹ Eulers Gesetze des Gleichgew. flüss. Körper, übersetzt von Brandes. S. 111.

kam zuerst auf den Gedanken, daß die Geschwindigkeit vielleicht der Zeit des Falles proportional seyn könne; aus diesem Hauptgesetze bestimmte er die übrigen Gesetze des Falles, die er dann mit der Erfahrung verglich und dieser entsprechend fand. Er trug diese schon im J. 1602 entdeckten Gesetze in seinen Gesprächen über die Bewegung¹ vor und legte so den Grund zu unserer ganzen neueren Mechanik. Seine Theorie fand viele Gegner, obgleich auch TORRICELLI sie mit vorzüglicher Eleganz entwickelte², und selbst Baliani, obgleich er des GALILEI Theorie als die richtige vorträgt, äußerte dennoch, es sey doch auch möglich, daß sich die Geschwindigkeiten, wie die durchlaufenen Räume verhielten³. Diese Aeußerung faßten die Gegner auf und gaben dem eben angeführten Satze den Namen der *Hypothese* des Baliani. Der Streit über diese Hypothese und ihre Widerlegung durch GASSENDI und FERMAT hat für unsere Zeiten keine Wichtigkeit mehr, da die Richtigkeit der Theorie längst anerkannt ist.

GALILEI selbst stellte Versuche an, um die Richtigkeit der gefundenen Gesetze des Falles zu beweisen. Er liefs in einem 12 Ellen langen, $\frac{1}{4}$ Elle hohen, 3 Zoll breiten Balken einen Canal aushöhlen, den er mit Pergament belegte, um ihn desto glatter zu machen. Diesen Balken konnte er am einen Ende mehr oder minder heben und indem er nun die Zeit beobachtete, welche eine glatte messingene Kugel gebrauchte, um gewisse Räume zu durchlaufen, fand er, daß diese Räume den Quadraten der Zeiten proportional waren. RICCIOLI und GRIMALDI suchten ebenfalls die Theorie durch Versuche zu bestätigen. Ihre wichtigsten Versuche stellten sie auf dem Thurme degli Asinelli in Bologna an⁴, wo sie eine Fallhöhe von 280 Fufs hatten; aber auch von andern Thürmen liefsen sie Kugeln fallen, und beobachteten die Zeit mit einem Pendel, welches Sechstel - Sekunden schlug. Die beobachteten Zeiten stimmten völlig mit

1 Discorsi e dimostraz. matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla mecanica ed i movimenti locali. Leid. 1638. und in den Opere di Galileo Galilei, Firenze. 1718. Tomo 2. p. 479. 585.

2 De motu gravium naturaliter descendentium et projectorum, Flor. 1641.

3 De motu gravium solidorum et fluidorum. Genuae. 1646.

4 Vergl. Benzenberg. S. 82. Riccioli Almag. Nov. Lib. II., Cap. 21.

dem *Galilei'schen Gesetze* überein, und sie sahen dieses dadurch als völlig bestätigt an, obgleich allerdings ihre Versuche nicht so genau angestellt wurden, daß kleine Unterschiede ihnen merklich werden konnten.

Aehnliche Versuche stellte *DECHALES* an¹, theils indem er die Fallzeit für Steine, die er in einen Brunnen fallen liefs, beobachtete, theils indem er den genauen Fallraum der Körper während eines halben Pendelschlages verschiedener Pendel beobachtete. Er machte z. B. die Einrichtung, daß ein Pendel von 3 Fufs Länge in seinem tiefsten Punkte an ein aufrecht stehendes Brett traf, und liefs nun in demselben Augenblick eine Kugel frei fallen, da'er das Pendel losliefs; er fand, daß die Kugel $4\frac{1}{4}$ Fufs tief fallen mußte, um mit dem Anschlagen des Pendels gleichzeitig den Boden zu erreichen. Die in unsern Zeiten von *BENZENBERG* angestellten Versuche hatten zwar nicht mehr den Zweck, das Gesetz des Falles zu bestimmen oder die Gröfse des Fallraums in der ersten Secunde zu entdecken; aber sie verdienen wegen ihrer Genauigkeit und der großen Sorgfalt, mit welcher alle Umstände berücksichtigt sind, hier erwähnt zu werden. Sie sind die vollkommensten, die man je über diesen Gegenstand angestellt hat.

Uebrigens hat man schon seit langer Zeit andere Mittel kennen gelernt, um sich von der Richtigkeit der Theorie zu überzeugen. Es wird nachher gezeigt werden, daß die Zeit der Pendelschwingungen bei gegebener Länge des Pendels ein Mittel abgiebt, um den Werth der Gröfse g , oder um den Fallraum in der ersten Secunde zu bestimmen, und daß das Verhältniß der Zeiten für Schwingungen ungleich langer Pendel, welches in der Erfahrung so gefunden wird, wie es die Theorie fordert, eine vollkommene Bestätigung der Hauptgesetze der Bewegung fallender Körper darbietet. Will man sich durch unmittelbare Versuche von der Richtigkeit der Gesetze des Falles überzeugen, so kann man sich der Versuche auf der schiefen Ebene (No. 14) oder der Versuche mit der Fallmaschine bedienen².

Eine sinnreiche Art, das Gesetz, daß die Fallräume den Quadraten der Zeiten proportional sind, zu beweisen, hat *SE-*

1 *Cursus mathematicus*. Tom. II. Stat. Lib. II. propos. I. II.

2 S. diesen Artikel.

BASTIEN schon 1699 angegeben¹. Auf der Fläche des parabolischen Konoids ABD, welches durch die Umdrehung der Parabel ADC um die Axe AC entstanden ist, werde ein schraubenartig fortlaufender Gang A E F G H I ausgehöhlt, der in jedem Punkte unter gleichem Winkel gegen den Horizont geneigt ist: so läßt sich aus der Theorie erweisen (vergl. No. 13), daß der in diesem Gange hinablaufende Körper immer die Geschwindigkeit hat, die seinem freien Falle bei gleicher verticaler Tiefe angemessen wäre, daraus aber folgt, wie ich sogleich zeigen will, daß jeder Umlauf um das Paraboloid in gleicher Zeit durchlaufen wird, und die Erfahrung ergibt, daß dies auch wirklich so erfolgt. Wenn man nämlich, indem eine vom Punkte A ausgehende Kugel in G ankömmt, eine zweite Kugel bei E fortrollen läßt, und wenn diese G erreicht, eine dritte in E nachsendet, so bleiben diese Kugeln immer gerade über einander. Dals es so seyn mñs, läßt sich so beweisen. Es sey der Punkt A, wo die Bewegung anfängt, im Scheitel selbst, eines andern unbestimmten Punktes X Abscisse = x: so ist da, wo der letztere liegt, des Paraboloides Halbmesser $y = \sqrt{px}$, wenn p den Parameter bedeutet. Der ausgehöhlte Gang sey unter dem Winkel = α gegen den Horizont geneigt, so ist ein mit dem horizontalen Winkel = $d\varphi$ zusammen gehöriges Stück dieses

Ganges = $ds = \frac{y \cdot d\varphi}{\cos. \alpha}$, wenn der Halbmesser des durch X

gezogenen Kreises = y ist, oder $ds = \frac{d\varphi}{\cos. \alpha} \sqrt{px}$. Nun aber

wird nachher gezeigt, daß die Geschwindigkeit eben diejenige ist, die ein von der Höhe = x, (dem verticalen Höhenunterschiede der Punkte A und X) frei herabfallender Körper erreichen würde, also $v = \sqrt{4gx}$, und folglich wird der Weg ds

in der Zeit $dt = \frac{ds}{v} = \frac{ds}{\sqrt{4gx}} = \frac{d\varphi \cdot \sqrt{px}}{\cos. \alpha \cdot \sqrt{4gx}}$,

$dt = \frac{d\varphi}{\cos. \alpha} \sqrt{\frac{p}{4g}}$ durchlaufen, und die Zeit t ist also

$= \frac{\varphi}{\cos. \alpha} \sqrt{\frac{p}{4g}}$ dem horizontalen Winkel φ proportional so

1 Mém. de l'acad. des sciences pour 1699.

dafs die ganzen Umläufe, ihr Halbmesser sey grofs oder klein, in gleichen Zeiten vollendet werden.

Fall der Körper auf vorgeschriebenen Wegen.

Fig. 2. 13. Wenn der der Wirkung der Schwere ausgesetzte Körper A sich auf einer gegen den Horizont geneigten Unterlage befindet, so wirkt nicht die volle Kraft der Schwere auf seine Fortbewegung und er fällt daher, selbst wenn alle andere Widerstände unbeachtet bleiben, minder schnell, als im ganz freien Falle. Es sey DE, die Tangente der krummen Linie, auf welcher A sich fortbewegen soll, an dem Punkte B, wo er sich gerade befindet, unter dem Winkel φ gegen den Horizont geneigt, so mufs man die Schwerkraft, die durch BF dargestellt werde, in zwei Seitenkräfte BG, BH zerlegen, von denen nur die erste = BF. Sin. φ die Bewegung des Körpers A beschleuniget, die zweite BH aber durch den unüberwindlichen Widerstand der Curve verschwindet. Da nun die Schwere den Körper in der ersten Secunde durch den Raum = g treibt, wenn der Körper ihr frei folgen kann, und die nach BG wirkende Kraft sich zur frei wirkenden Schwere verhält, wie Sin. φ : 1, so wird die nach BG wirkende Kraft ihn nur durch den Raum = g. Sin. φ in der ersten Secunde treiben, oder die Hauptgleichungen für die Bewegung werden hier

$$dv = 2g dt \cdot \text{Sin. } \varphi; ds = v dt$$

sey, wie sich aus No. 3 leicht übersehen läfst, wenn dv die Zunahme der Geschwindigkeit in der Zeit = dt, und ds den in der Zeit = dt durchlaufenen Raum bezeichnet. Nennt man x die verticale Tiefe des Punctes B unter demjenigen Anfangspuncte, von welchem an die Bogen s gerechnet werden, so ist

$$\text{Sin. } \varphi = \frac{dx}{ds}, \text{ und folglich, da } dt = \frac{ds}{v} \text{ ist,}$$

$$dv = 2g \cdot \frac{ds}{v} \cdot \frac{dx}{ds},$$

$$v dv = 2g dx,$$

und durch Integration $v^2 = 4gx$. Es ergiebt sich also der wichtige Satz: *dafs die Geschwindigkeit beim Falle auf irgend einem vorgeschriebenen Wege in jedem Puncte eben so grofs ist,*

als sie seyn würde, wenn der Körper im freien Falle von dem Punkte, wo seine Bewegung mit der Geschwindigkeit = 0 anfangt, eben so tief herab gefallen wäre; oder, wenn der Körper A in K ohne Anfangsgeschwindigkeit zu fallen anfangt, so ist in B seine Geschwindigkeit gleich der der verticalen Tiefe des Punktes B unter K entsprechenden Geschwindigkeit.

Die Formel $v dv = 2g dx$ ist noch allgemeiner, da sie $v^2 = 4gx + \text{Const.}$ giebt. War also da, wo $x = 0$ ist, $v = c$, so hat man $v^2 = c^2 + 4gx$, das ist: auch, wenn der Körper in K eine Anfangsgeschwindigkeit hatte, so hat doch in B das Quadrat seiner Geschwindigkeit um soviel zugenommen, als der verticalen Tiefe gemäß ist. Körper also, die auf verschiedenen Wegen herabfallen, und in einer gewissen Horizontallinie KL gleiche Geschwindigkeit hatten, kommen in jeder andern Horizontallinie MN mit gleichen Geschwindigkeiten an, obgleich der eine L diese Horizontallinie später, der andere K sie früher erreicht, wegen der ungleichen Wege LM, KN.

14. Die geneigte Ebene giebt das einfachste Beispiel. Hier ist $\text{Sin. } \varphi$ unveränderlich, also $v = 2gt \text{ Sin. } \varphi + c$, wenn die Anfangsgeschwindigkeit = c war, und

$$s = gt^2 \text{ Sin. } \varphi + ct.$$

Für $c=0$ ist $s = g.t^2 \text{ Sin. } \varphi$, also der in bestimmter Zeit durchlaufene Weg desto kleiner, je kleiner die Neigung gegen die horizontale Ebene ist. Hierdurch hat man es daher in seiner Gewalt, die durch die Schwerkraft hervorgebrachte Bewegung so langsam zu erhalten, dafs sich die in bestimmten Zeiten durchlaufenen Wege bequem beobachten lassen, und deshalb bediente GALILEI sich dieses Mittels, um seine Theorie zu prüfen.

15. Schon GALILEI fand den merkwürdigen Satz¹, dafs die Fallzeit durch verschiedene, vom tiefsten Punkte eines Kreises ausgehende Sehnen, gleich ist. Es sey nämlich AD = 2r der verticale Durchmesser eines Kreises, DM eine unter dem Winkel MDE = φ gegen den Horizont geneigte, vom tiefsten Punkte ausgehende Sehne, so ist DCM = 2φ und DM = 2r. Sin. φ . Da nun allemal (No. 13) der durchlaufene

1 Opere di Galilei Tom, 2. p. 594.

Weg $= s = gt^2 \sin. \varphi$ ist, so findet man die auf dem Wege
 $= 2r \sin. \varphi$ verwandte Zeit $= \sqrt{\frac{s}{g \sin. \varphi}} = \sqrt{\frac{2r}{g}}$.

Diese Zeit ist folglich von der Länge und Neigung der Sehne unabhängig, und Körper, die auf AD, BD, MD herablaufend ihre Bewegung gleichzeitig in A, B, M anfangen, erreichen den Punct D in demselben Augenblicke. Selbst eine sehr kleine vom tiefsten Puncte D aus gezogene Sehne des Kreises wird in eben so langer Zeit durchlaufen, weil die beschleunigende Kraft, bei der geringen Neigung der Sehne, in eben dem Mafse geringer wird, in welchem die Sehne kürzer ist.

16. Wenn der Weg, den der Körper durchlaufen kann, eine krumme Linie ist, so lassen die Gleichungen

$$dv = 2g dt \sin. \varphi = 2g dt \frac{dx}{ds}$$

$$\text{und } ds = v dt,$$

in No. 13 sich nicht anders integriren, als wenn die Natur der Curve bekannt ist, oder x und s durch einander gegeben sind.

Fig. 5. Die krumme Linie sey ein Kreis, in welchem der Bogen s vom tiefsten Puncte an gerechnet wird: C sey der Mittelpunct, r der Halbmesser, und der Bogen $AX = s = r\varphi$, wenn $ACX = \varphi$ ist. Die Neigung der an X gezogenen Tangente ZX gegen die Horizontallinie AB ist $= \varphi = ACX$, also

$$dv = 2g dt \sin. \varphi,$$

und weil hier, wenn der Körper sich gegen A zu bewegt, $v dt = -ds = -rd\varphi$ ist,

$$2vdv = 4gv dt \sin. \varphi = -4gr d\varphi \sin. \varphi,$$

$$\text{oder } v^2 = \text{Const.} + 4gr \cos. \varphi.$$

War also $v = 0$, als der Körper sich in D befand und war dort $ACD = \gamma$, so ist $v^2 = 4gr (\cos. \varphi - \cos. \gamma)$,
 $= 4g \cdot EF$, wenn DE, XF,
 Horizontallinien durch die beiden Puncte D, X sind.

$$\text{Hieraus sollte nun } t = \int \frac{ds}{v} = \int \frac{-d\varphi \cdot r}{\sqrt{4g (\cos. \varphi - \cos. \gamma)}}$$

als Zeit des Falles durch DX gefunden werden, was aber allgemein nur durch Entwicklung einer Reihe möglich ist.

Wenn φ und γ beide so klein sind, daß man

$$\cos. \varphi = 1 - \frac{1}{2}\varphi^2$$

$$\cos. \gamma = 1 - \frac{1}{2}\gamma^2$$

setzen darf, so wäre $dt = -d\varphi \cdot \sqrt{\frac{r}{2g(\gamma^2 - \varphi^2)}}$.

$$\text{oder } dt = \frac{-d\varphi}{\gamma \cdot r \left(1 - \frac{\varphi^2}{\gamma^2}\right)} \cdot \sqrt{\frac{r}{2g}},$$

$$\text{und } t = \frac{-\gamma r}{\gamma 2g} \cdot \text{Arc. Sin. } \frac{\varphi}{\gamma} + \text{Const.}$$

Hier bedeuten φ , γ zwar selbst zwei Bogen, aber die Zahl $\frac{\varphi}{\gamma}$ giebt eine Zahl an, die in den Sinustafeln aufgesucht einen zugehörigen Bogen, der hier in seinem Verhältniß gegen den Halbmesser angegeben werden muß, ergibt. Da t verschwinden soll, wenn $\varphi = \gamma$ ist, weil in D die Bewegung anfing, so ist $t = \frac{\gamma r}{\gamma 2g} \left\{ -\text{Arc. Sin. } \frac{\varphi}{\gamma} + \frac{1}{2}\pi \right\}$ indem $\text{Arc. Sin. } 1 = \frac{1}{2}\pi$ ist; und die Zeit, bis der bewegte Punct in A ankommt, wo $\varphi = 0$ ist, wird $= \frac{1}{2}\pi \sqrt{\frac{r}{2g}}$. oder wenn $2r = 1$ ist, eben die Zeit $= \frac{1}{4}\pi \sqrt{\frac{1}{g}}$.

Hieraus folgt also für sehr kleine Bewegungen auf dem Kreisbogen, daß die Zeiten nicht von der Größe des Bogens abhängen, daß sie aber den Quadratwurzeln aus den Durchmesser direct, und dem Werthe von γg umgekehrt proportional sind. Für größere Bogen ist das Integral nicht anders als durch Reihen zu bestimmen, und es wird da die Zeit des ganzen Falles durch den Bogen DA

$$= \frac{1}{4}\pi \sqrt{\frac{1}{g}} \cdot \left\{ 1 + \frac{1}{4} \frac{AE}{\alpha} + \frac{9}{64} \frac{AE^2}{\alpha^2} + \text{etc.} \right\}$$

Der fallende Körper durchläuft jeden Bogen, der kleiner als der Quadrant, und selbst diesem gleich ist, in kürzerer Zeit, als er die Sehne desselben durchlaufen würde.

Wenn bei unsern Pendeln die Masse des ganzen Körpers als in einem Puncte vereinigt angesehen werden dürfte, so würde die Bewegung des Pendels durch diese Formeln ausgedrückt, und es wäre, da hier die Länge des Pendels = dem Halbmesser des Kreises = r ist, die Zeit einer halben Pendel-

$$\text{schwingung} = \frac{1}{2}\pi \sqrt{\frac{r}{2g}}, \text{ einer ganzen Pendelschwingung} =$$

$\pi \sqrt{\frac{r}{2g}}$, wenn die Schwingungen klein sind. Hier zeigt sich also, wie g (No. 8) aus der Länge des Secundenpendels bestimmt wird.

17. Da hier die Schwingungen bei *kleinen* Bogen gleiche Zeiten fordern, wenn auch die Bogen verschieden sind, und also für ungleiche kleine Bogen ein *Isochronismus* der Oscillation statt findet, so entstand natürlich die Frage, ob irgend eine Curve für *alle* Bogen die Eigenschaft habe, daß der fallende Körper jeden Bogen, der bis zum tiefsten Punkte reicht, in gleichen Zeiten durchlaufe¹. HUYGENS bemerkte, daß die *Cykloide* diese Eigenschaft habe, und daß sie also eine isochronische oder tautochronische Curve sey. Diese Eigenschaft muß derjenigen Curve zukommen, deren Neigung gegen den Horizont in jedem Punkte so bestimmt wäre, daß der Sinus der Neigung dem vom tiefsten Punkte an gerechneten und bis zu diesem

Fig.
6.

Punkte genommenen Bogen proportional wäre. Denn wenn

$AG = s$ und $\text{Sin. GHK} = \frac{s}{b}$ wäre, so würde die Geschwindigkeit $= v$, die der Körper in G erlangt hat, um $dv = 2g \frac{s}{b} dt$

zunehmen, also $v dv = -\frac{2gs ds}{b}$ und $v^2 = -\frac{2g(s^2 - a^2)}{b}$

seyn, wenn $AGN = a$ der Bogen ist, in dessen Anfangspunkte N die Geschwindigkeit $= 0$ war. Daraus aber würde

$$dt = \frac{-ds}{v} = \frac{-ds}{\sqrt{a^2 - s^2}} \sqrt{\frac{b}{2g}}$$

$$\text{oder } t = \frac{-\sqrt{b}}{\sqrt{2g}} \cdot \text{Arc. Sin. } \frac{s}{a} + \text{Const.}$$

oder, weil für $s = a$, $t = 0$ seyn soll,

$$t = \sqrt{\frac{b}{2g}} \left(\frac{1}{2}\pi - \text{Arc. Sin. } \frac{s}{a} \right) \text{ welches die ganze Zeit des Falles vom höchsten Punkte bis an den tiefsten Punkt A unabhän-}$$

gig von dem durchlaufenen Bogen $a = \frac{1}{2}\pi \sqrt{\frac{b}{2g}}$ giebt.

Hiermit ist erwiesen, daß die gleiche Fallzeit durch jeden bis an den untersten Punkt A reichenden Bogen von jener Eigen-

1 Vergl. *Bewegung*. Th. I. S. 963.

schaft abhängt. Jene Eigenschaft läßt sich aber, wenn die verticale Ordinate $AF = z$ heißt, durch $\frac{dz}{ds} = \frac{s}{b}$ oder $2bz - s^2$ oder $s = \sqrt{2bz}$ ausdrücken, woraus $ds = dz \sqrt{\frac{b}{2z}}$ folgt. Es sey die Ordinate $FG = x$, also $ds^2 = dx^2 + dz^2 = \frac{b dz^2}{2z}$, so wird $dx = dz \cdot \sqrt{\frac{b-2z}{2z}}$; und wenn man hier

$$\text{Cos. } \varphi = 1 - \frac{4z}{b} \text{ setzt,}$$

$$\text{wodurch } z = \frac{1}{4}b - \frac{1}{4}b \text{ Cos. } \varphi$$

$$dz = \frac{1}{4}b d\varphi \text{ Sin. } \varphi$$

$$\sqrt{\frac{b-2z}{2z}} = \text{Cotang. } \frac{1}{2}\varphi, \text{ wird: so erhält man}$$

$$dx = \frac{1}{4}b d\varphi (1 + \text{Cos. } \varphi); x = \frac{1}{4}b \varphi + \frac{1}{4}b \text{ Sin. } \varphi,$$

$$z = \frac{1}{4}b (1 - \text{Cos. } \varphi).$$

Dieses sind die beiden Gleichungen für die Coordinaten der Cykloide, wenn φ der Wälzungswinkel und $\frac{1}{4}b$ der Halbmesser des wälzenden Kreises ist.

Wie es möglich ist, daß der Bogen NA eben so schnell als der Bogen GA durchlaufen werde, wenn nämlich das eine Mal in N , das andere Mal in G die Bewegung mit der Geschwindigkeit $= 0$ anfing, das läßt sich wohl übersehen. Der Körper erlangte nämlich wegen der starken Neigung der Curve in N sogleich im Anfange eine große Geschwindigkeit und legt daher den Bogen GA viel schneller zurück, als wenn er in G ohne Geschwindigkeit seinen Lauf angefangen hätte.

18. Die Cycloide hat aber nicht bloß die Eigenschaft, die tautochronische Curve zu seyn, sondern sie ist auch die *Brachystochrone*, das heißt, diejenige Curve, auf welcher ein Körper am schnellsten von einem höher liegenden Punkte zum tiefern gelangt.

Wenn der Halbmesser des wälzenden Kreises $= \frac{1}{4}b = \rho$ ist, so ist die Zeit des Falles bis zum tiefsten Punkte $t = \frac{1}{2}\pi \sqrt{\frac{2\rho}{g}}$ auf der Sehne NA würde sie $t' = \sqrt{\frac{AN}{g \cdot \text{Sin. } ANQ}}$ seyn, also wenn N der höchste Punct,

Sin. ANQ = $\frac{2\rho}{AN}$ und AN = $\rho \sqrt{4 + z^2}$ ist,

$t' = \frac{\sqrt{4\rho + z^2\rho}}{\rho^2 g}$, also viel größer seyn, und selbst auf dem Kreisbogen wäre sie größer¹.

Die Linie des schnellsten Falles, oder die Brachystochrone muß so beschaffen seyn, daß $t = \int \frac{ds}{v}$ ein Kleinstes ist. Aber die Geschwindigkeit v ist durch die verticale Höhe des Falles völlig bestimmt; ist diese nämlich = z , so ist $v = 2\sqrt{gz}$, die Curve sey welche man will, und es muß also

$\int \frac{ds}{2\sqrt{gz}} = \text{minimum}$ seyn, wenn dieses Integral zwischen den Grenzen genommen wird, welche die beiden gegebenen Punkte, von welchem aus und zu welchem hin die Bewegung gehen soll, bestimmen. Da aber ds nicht als ein unabhängiges Differential der Rechnung zum Grunde gelegt werden kann, weil es, nach Verschiedenheit der Richtung jedes einzelnen Theils der Curve ein anderes Verhältniß gegen dz hat, so müssen wir dafür $ds = \sqrt{dx^2 + dz^2}$ setzen, so daß

$\int \frac{\sqrt{dx^2 + dz^2}}{\sqrt{z}}$ ein Kleinstes seyn muß, indem ja der constante Divisor $2\sqrt{g}$ auf diese Eigenschaft keinen Einfluß hat.

Denkt man sich nun mannigfaltige Curven durch beide gegebene Punkte gezogen, so würde für jede derselben x eine andre Function von z seyn; für jede derselben würde unser Integral einen andern Werth erhalten, und wenn man von einer zu einer andern, wenig davon abweichenden überginge, so würde im Allgemeinen eine Aenderung im Werthe des Integrals vorgehen, und diese Aenderung ist es, die hier die Variation des Integrals, (die man mit δ bezeichnet,) heißt. Aber es erhellet leicht, daß wenn die Curve des schnellsten Falles richtig gezeichnet wäre, so würde man, sowohl durch bedeutendere Abweichungen nach der einen Seite als durch Abweichungen nach der andern Seite, ein größeres Integral erhalten; statt daß also sonst in einer gewissen Reihenfolge, wenn man verschiedene

¹ GALILEI glaubte, der Kreis möge diese Eigenschaft haben. Opere. Tom. II. p. 627.

Linien gezeichnet hätte, die zweite ein kleineres Integral als die erste, und ein größeres als die dritte geben würde, hätte die als richtig gezeichnete Curve die Eigenschaft, dafs, wenn sie die mittlere oder zweite wäre, das Integral kleiner für sie als für die erste, aber auch kleiner als für die dritte seyn würde. Mit andern Worten, die richtige Curve ist diejenige, wo das Integral bei *sehr geringen* Aenderungen keine (nämlich durch das erste Glied der Differenzreihe auszudrückende) Aenderung

leidet. Daher $\delta \int \frac{\gamma(dx^2 + dz^2)}{\gamma z} = 0$, oder

$$\int \delta \cdot \left\{ \frac{\gamma(dx^2 + dz^2)}{\gamma z} \right\} = 0,$$

oder da die Bestimmung der Variationen keinem andern Gesetze, als der Bestimmung der Differentiale folgt,

$$0 = \int \left\{ \frac{dx \cdot \delta dx}{ds \cdot \gamma z} + \frac{dz \cdot \delta dz}{ds \cdot \gamma z} - \frac{1}{2} \frac{ds \cdot \delta z}{\gamma z^3} \right\}.$$

Da hier das Zeichen δ sich auf die Aenderungen bezieht, die statt finden, wenn man von einer Curve zur andern übergeht, die Integration aber den Fortgang auf einer und derselben Curve betrifft, so bezieht sich die Integration auf das Zeichen d , und indem $\delta dx = d \cdot \delta x$, so ist folgende theilweise Integration unstreitig erlaubt:

$$\text{Const.} = \frac{dx}{ds \cdot \gamma z} \delta x + \frac{dz}{ds \gamma z} \delta z - \int \left\{ \delta x \cdot d \left(\frac{dx}{ds \gamma z} \right) + \delta z \left(d \cdot \frac{dz}{ds \cdot \gamma z} + \frac{ds}{2 \gamma z^3} \right) \right\}$$

Die Const. müfste hier so bestimmt werden, dafs der Werth des Integrals bei dem einen gegebenen Punkte, wo die Bewegung anfangen sollte, = 0 würde und dann müfste das Integral bis zu dem andern gegebenen Punkte genommen werden, um seinen vollen Werth zu erhalten. Dafs diese Integration nicht blofs erlaubt, sondern nothwendig sey, ist etwas schwerer zu beweisen; indess läfst sich wenigstens folgendes annehmen. Wenn wir uns eine der Curven, unter denen wir die richtige auswählen sollen, gezeichnet denken, so gehen wir zu einer andern über, indem wir den einzelnen Punkten jener eine geänderte Lage geben. War also dx , als dem Bogen ab angehörig $= \alpha \gamma$, so wird es, indem jene Punkte nach a' und b' hinübergehen, in $\alpha \delta$ verändert und es wäre $\alpha \delta - \alpha \gamma = \delta \cdot dx$.

Fig.
7.

Es erhellet aber leicht, daß man von der Curve HK zur Curve HL übergehen kann, ohne gerade die Endpunkte eines bestimmten Elementes ab nach den Punkten a' und b' hinüber zu tragen, und daß folglich die $\delta \cdot dx$, selbst bei dem Uebergange zu einer bestimmten Curve, unbestimmt bliebe. Diese Unbestimmtheit muß offenbar in der Rechnung vermieden werden, und daher gilt die Regel, daß die verschiedenen Zeichen δ , d nicht vereinigt vorkommen dürfen.

Sobald durch diese Operation die Glieder so getrennt sind, daß Glieder mit δx und mit δz multiplicirt außer dem Integralzeichen, und eben so gebildete Glieder unter dem Integralzeichen stehen, so ist keine weitere Integration möglich; denn eine neue theilweise Integration würde auf $d \cdot \delta x$ und $d \cdot \delta z$ zurückführen, eine vollkommene Integration aber wäre nur möglich, wenn für δx , δz , bestimmte Functionen von x , z gesetzt würden, was gegen die Natur der Sache ist, indem wir dann zu einer genau bestimmten andern Curve übergängen, statt daß wir zu einer jeden andern Curve sollten übergehen dürfen.

Aber eben diese Betrachtung fordert nun auch, daß die jetzt noch unter dem Integralzeichen stehende Summe von Gliedern gänzlich verschwinde. Es ist nämlich offenbar, daß die vom Integralzeichen befreiten Glieder zwischen den Grenzen, welche die beiden Endpunkte angeben, genommen, einen bestimmten Werth geben, die unter dem Integralzeichen stehenden dagegen immer einen andern Werth erhalten, je nachdem wir für δx , δz uns andere Functionen von x und z denken. Jene hängen nur noch von den Endpunkten ab, das ganze Integral dagegen von den durch den ganzen Raum der Curve angenommenen Werthen von δx , δz ; nähme man daher auch das Integral so, daß es für den Anfangspunct verschwände, so würde doch sein Werth für den Endpunct gänzlich von dem Gesetze abhängen, wonach die Aenderungen δx , δz festgesetzt wären; ein solches angenommene Gesetz würde aber die Untersuchung höchst beschränkt auf den Uebergang zu einer bestimmten Curve beziehen; soll sie unbeschränkt durchgeführt werden, so darf ein solches Gesetz gar nicht herein gebracht werden; — kurz, da mit jedem solchen Gesetze ein anderer Werth des Integrals hervorginge, und doch dieses Integral einen constanten Werth haben soll, so muß es $= 0$ seyn, oder der Coefficient von δx unter dem Integralzeichen, muß eben so wie

der Coefficient von δz , jeder für sich, = 0 seyn, indem nur dann jenes Constantbleiben für alle Functionen, die man statt δx , δz setzen möchte, statt findet.

$$\text{Es ist also } 0 = d. \frac{dx}{ds. \gamma z},$$

$$\text{und } 0 = \frac{ds}{2. \gamma z^3} + d. \frac{dz}{ds. \gamma z}.$$

Hierin scheint eine doppelte Bedingung gegeben zu seyn; ich werde aber sogleich zeigen, daß die eine schon in der andern enthalten ist, und es läßt sich aus allgemeinen Gründen zeigen, daß dieses allemal statt findet.

$$\text{Die erste giebt } \frac{dx}{ds. \gamma z} = \text{Const.},$$

$$\text{oder } z ds^2 = a dx^2,$$

$$\text{oder } dx = dz \sqrt{\frac{z}{a-z}}.$$

$$\text{Es sey hier wieder } \sqrt{\frac{z}{a-z}} = \text{Tang. } \frac{1}{2} \varphi,$$

$$\frac{\gamma z}{\gamma a} = \text{Sin. } \frac{1}{2} \varphi; \quad \frac{\gamma(a-z)}{\gamma a} = \text{Cos. } \frac{1}{2} \varphi,$$

$$\text{also } \text{Cos. } \varphi = 1 - \frac{2z}{a}, \quad dz = \frac{1}{2} a d\varphi. \text{ Sin. } \varphi,$$

$$dx = \frac{1}{2} a d\varphi. \text{ Sin. } \varphi. \text{ Tang. } \frac{1}{2} \varphi = a d\varphi. \text{ Sin. } \frac{3}{2} \varphi.$$

also

$$x = C - 2a \text{ Sin. } \frac{1}{2} \varphi \text{ Cos. } \frac{1}{2} \varphi + a \int d\varphi. \text{ Cos. } \frac{3}{2} \varphi,$$

$$x = C - 2a \text{ Sin. } \frac{1}{2} \varphi \text{ Cos. } \frac{1}{2} \varphi + a \int (d\varphi - d\varphi. \text{ Sin. } \frac{3}{2} \varphi),$$

$$x = C - a \text{ Sin. } \varphi + a \varphi - x,$$

$$\text{da } dx = a \int d\varphi. \text{ Sin. } \frac{3}{2} \varphi \text{ war,}$$

$$\text{also endlich } x = \frac{1}{2} C + \frac{1}{2} a \varphi - \frac{1}{2} a \text{ Sin. } \varphi.$$

oder da der Anfangspunct der Abscissen willkürlich ist, und C nur davon abhängt,

$$x = \frac{1}{2} a \varphi - \frac{1}{2} a. \text{ Sin. } \varphi,$$

$$z = \frac{1}{2} a - \frac{1}{2} a. \text{ Cos. } \varphi,$$

Gleichungen, in denen man die *Cykloide* erkennt.

Daß die zweite Bedingungsgleichung eben das giebt, läßt sich hier leicht zeigen. Wir hatten nämlich

$$ds. \gamma z = dx \gamma a, \text{ also}$$

$$dx^2 = dz^2. \frac{z}{a-z},$$

$ds = dz \sqrt{\frac{a}{a-z}}$, und daher

$$d. \frac{dz}{ds \cdot \gamma z} = d. \sqrt{\frac{a-z}{az}} = \frac{-\frac{1}{2} a dz}{\gamma [az^3(a-z)]},$$

welches sich gegen $\frac{ds}{2\gamma z^3} = + \frac{\frac{1}{2} dz \gamma a}{\gamma (z^3(a-z))}$ aufhebt.

Die *Cykloide* ist also die Linie des schnellsten Falles, und eben so wie hier wird in allen Fällen die Natur der gesuchten Curve aus dem unaufgelöst gebliebenen Integral, welches = 0 seyn mußte, hergeleitet. Nur diejenige Curve, für welche jene einzelnen unter dem Integralzeichen stehenden Coefficienten = 0 werden, hat die Eigenschaft, daß bei kleinen Abweichungen von ihr die Fallzeit sich gar nicht oder nur um Größen des zweiten Grades, (die hier positiv ausfallen würden) ändert.

Um die *Cykloide* völlig zu bestimmen, muß nun die Lage der beiden Punkte gegeben seyn. Für den einen mag $x = a'$, $z = b'$ für den andern $x = a''$, $z = b''$ seyn, so würde die

$$\text{Constans der Gleichung } \text{Const.} = \frac{dx}{ds \cdot \gamma z} \delta x + \frac{dz}{ds \cdot \gamma z} \delta z$$

$$\text{durch } \text{Const.} = \frac{da' \cdot \delta a' + db' \cdot \delta b'}{\gamma b' \cdot \gamma (da'^2 + db'^2)}$$

gegeben und der volle Werth dieser Integralgleichung durch

$$\frac{da' \cdot \delta a' + db' \cdot \delta b'}{\gamma b' \cdot \gamma (da'^2 + db'^2)} = \frac{da'' \cdot \delta a'' + db'' \cdot \delta b''}{\gamma b'' \cdot \gamma (da''^2 + db''^2)},$$

ausgedrückt seyn.

Wären nun die Punkte, von deren einem der Fall ausgeht und zu deren anderem er hingehen soll, nicht als ganz feste Punkte gegeben, sondern hiesse die Frage, man solle die Linie bestimmen, auf welcher der Körper am schnellsten von der Linie AB zu CD hinüber gelangte, so liesse sich der Anfangspunct G verändern, oder es wäre auch a' und b' einer Variation unterworfen, jedoch so, daß G auf der Linie AGB bleiben müßte, also $\delta b'$ durch $\delta a'$ gegeben wäre. In diesem Falle bezieht sich $\delta a'$, $\delta b'$, auf die Aenderung der Lage des Anfangspunctes also auf die gegebene Curve AGB, dagegen da' , db' auf die Anfangsrichtung der von G ausgehenden *Cykloide*, die, wie sich leicht zeigen läßt, die gegebene Curve senkrecht schneiden muß. Etwas genau diesem Entsprechendes findet in Beziehung auf den Endpunct statt. Aber um nicht zu lange bei

Fig.
8.

dieser Frage zu verweilen, will ich nicht diesen Fall betrachten, sondern nur den, da beide Endpunkte fest gegebene Punkte sind. In diesem Falle ist $\delta a' = \delta b' = 0$; $\delta a'' = \delta b'' = 0$, weil keine willkürliche Abänderung der Punkte gestattet ist, und nun fügt die zuletzt angeführte Gleichung keine neue Bedingung zur Auflösung hinzu, sondern diese ist völlig in den beiden Gleichungen

$$x = C + \frac{1}{2} a \varphi - \frac{1}{2} a \text{ Sin. } \varphi,$$

$$z = \frac{1}{2} a - \frac{1}{2} a \text{ Cos. } \varphi$$

enthalten, wo C , a noch zu bestimmen sind. Die Lage der beiden Punkte dient zu ihrer Bestimmung, und diese sey also durch $x = 0$, $z = 0$ für den höheren; $x = \alpha$, $z = \beta$ für den tieferen gegeben. Dann ist

$$0 = C + \frac{1}{2} a \varphi - \frac{1}{2} a \text{ Sin. } \varphi,$$

$$\text{und } 0 = \frac{1}{2} a - \frac{1}{2} a \text{ Cos. } \varphi,$$

also $\varphi = 0$, im Anfangspunkte (vermöge der zweiten Gleichung) und zugleich $C = 0$; für den Endpunkt aber

$$\alpha = \frac{1}{2} a \varphi - \frac{1}{2} a \text{ Sin. } \varphi$$

und $\beta = \frac{1}{2} a (1 - \text{Cos. } \varphi)$, wo a dadurch bestimmt wird, daß

$$\text{Cos. } \varphi = 1 - \frac{2\beta}{a},$$

$$\text{und } \alpha = \frac{1}{2} a \left\{ \text{Arc. Cos. } \left(1 - \frac{2\beta}{a} \right) - \gamma \left(\frac{4\beta}{a} - \frac{4\beta^2}{a^2} \right) \right\}$$

ist. Die letzte Gleichung, als eine transcendente, muß durch Versuche aufgelöset werden.

Es sey $\alpha = \frac{1}{2} \beta \pi$, so läßt sich leicht übersehen, daß $\alpha = \beta$ wird, indem dadurch $\alpha = \frac{1}{2} \beta \text{ Arc. Cos. } (-1) = \frac{1}{2} \beta \pi$, identisch wird. In diesem Falle ist der Anfangspunct, (wie allemal bei einem festen Anfangspuncte) der Punct, in welchem die Cykloide ihre Spitze hat, der Endpunct hingegen der tiefste der Cykloide, oder der Körper durchläuft gerade die halbe Cykloide.

Um einen andern Fall zu betrachten, sey dagegen $\alpha = 10\beta$, also

$$10\beta = \frac{1}{2} a (\varphi - \text{Sin. } \varphi),$$

$$\beta = \frac{1}{2} a (1 - \text{Cos. } \varphi),$$

$$10 = \frac{\varphi - \text{Sin. } \varphi}{1 - \text{Cos. } \varphi}$$

Versucht man hier $\varphi = 270^\circ$, so ergibt sich nach dem Gleichheitszeichen 5,712,

$$\varphi = 300^\circ \text{ giebt } \dots 12,204.$$

$$\varphi = 290^\circ \dots \dots \dots 9,12.$$

$$\varphi = 293^\circ \dots \dots \dots 9,904.$$

$$\varphi = 294^\circ \setminus \dots \dots \dots 10,188.$$

$$\varphi = 293^\circ. 20' \dots \dots \dots 9,9978.$$

$$\varphi = 293^\circ. 21' \dots \dots \dots 10,00002. \text{ und endlich}$$

$$a = \frac{2\beta}{1 - \text{Cos. } 293^\circ. 21'} = 3,313. \beta.$$

das ist, die Cykloide muß durch einen Kreis vom Durchmesser = 3,313. β beschrieben werden, damit der auf ihr fallende und in ihrer zweiten Hälfte wieder steigende Körper in der kürzesten Zeit zum Endpuncte gelange. Da $BC = \beta$, $NB = 10\beta$ war, so würde ein auf NC laufender Körper die Zeit

$$= \frac{\sqrt{101. \beta^2}}{2\sqrt{g}} = \frac{\sqrt{\beta}}{\sqrt{g}}. 5,0497 \text{ nötig haben; der die halbe}$$

Cykloide NA durchlaufende Körper braucht die Zeit

$$= \pi. \sqrt{\frac{\beta}{g}}. \sqrt{0,8281} = 2,876. \sqrt{\frac{\beta}{g}}, \text{ er würde also in einer}$$

Zeit = 5,74. $\sqrt{\frac{\beta}{g}}$ den höchsten Punct der Cykloide E wieder erreichen, also der Punct C schon viel früher, und selbst hier, wo der Endpunct erst im Steigen wieder erreicht wird, ist die Cykloide die Linie des schnellsten Falles.

Ueber die Gesetze des Falles im widerstehenden Mitteln
s. *Widerstand.* *B.*

Fallmaschine.

Atwood's Fallmaschine, um die Gesetze des freien Falles zu zeigen, beruht auf der einfachen Ueberlegung, daß man die Schnelligkeit des Falles mäßigen kann, indem man die Beschleunigung des fallenden Körpers durch ein Gegengewicht vermindert, daß aber die Gesetze, nach welchen Geschwindigkeit und durchlaufener Weg von der Zeit abhängen, dabei un geändert bleiben.

Fig. 9. Auf der Mitte eines dreieckigen Fußbrettes AB , welches auf einem Fuße D und zwei Schrauben E, E , ruhet, um durch letztere horizontal gestellt zu werden, erhebt sich senkrecht die

hölzerne Säule FG, auf welcher, einige Zolle vom höchsten Punkte anfangend, eine Theilung von Zollen und Zehntel-Zollen angebracht ist. Diese Theilung wird, um die Tiefen des Falles anzugeben, von oben an herabwärts gezählt, und geht, (wie die Figur zeigt) bis auf 64 Zolle. (Statt 64 Zolle, welches eine Anordnung auf 8 Secunden ist, könnte man 49 Zoll, 81 Zoll wählen, wenn man die Einrichtung auf 7 oder 9 Secunden machen wollte.)

Oben bei G ist vermittelst der Schraube N, die in einer messingenen Schraubenmutter eine genaue und sichere Haltung finden muß, eine Platte LM befestigt, welche die Rolle K trägt. Diese Rolle, die sehr genau centrirt und überhaupt sauber gearbeitet seyn muß, da von ihrer vollkommen gleichen und leichten Bewegung alles abhängt, dreht sich um eine stählerne ^{Fig.} Axe ab, deren Enden in sorgfältig gearbeiteten Zapfenlagern ^{10.} ruhen. Man kann durch eine Schraube die an den Enden geschlossenen kreisförmigen Zapfenlager ein wenig mehr oder weniger gegen die in Spitzen ausgehenden Enden der Axe drücken, wodurch die — allemal schwache — Reibung ein wenig vermehrt oder vermindert wird.

Ueber den eingeschnittenen Rand der Rolle geht eine Schnur, an welcher die Gewichte bei OP, O'P' hängen. Die Rolle hat ihre Stellung aber genau so, daß das eine dieser Gewichte vor der Mitte der Scale herabläuft. Um die Bewegung der Gewichte, unter denen das vor der Scale herabsinkende das Uebergewicht haben muß, zu hemmen, dient ein horizontal beweglicher, mit Tuch bekleideter Hebel Q, der die Schnur bei M andrückt, und den man durch einen Schlag mit einem Stäbchen plötzlich fortbewegt in dem Augenblicke, da die Bewegung des fallenden Gewichtes anfangen soll¹. Die Gewichte richtet man (aus Gründen, die nachher vorkommen) so ein, daß sie aus kreisförmigen Scheiben bestehen, und auf die mit ihnen gleichen Durchmesser habenden Scheiben OP, O'P', sich auflegen lassen, wo sie von dem mit OP senkrecht verbundenen, ^{Fig.} metallenen Stäbchen p gehalten werden, indem sie, mit ^{11.} einem Einschnitte versehen, von der Seite aufgeschoben, auf

1 Dieser Hebelarm ist in Fig. 9 nur im Querschnitte, als die Schnur bei M andrückend, zu sehen, in Fig. 10 aber im Längendurchschnitte MQ. Sein Drehungspunct liegt etwa bei R.

den Scheiben OP, O'P' ruhen. Diese Gewichte sind nun erstlich solche, die auf beiden Scheiben OP, O'P' gleich aufgelegt werden, und dann zweitens ein Uebergewicht, das dem vor der Scale herabsinkende Gewichte beigefügt wird. Endlich befindet sich seitwärts an der Säule ein Pendel, welches bestimmt ist, die Zeit des Herabfallens des Gewichtes OP zu messen. Dasselbe ist entweder ein einfaches Secundenpendel, wenn die Gewichte OP, O'P' so eingerichtet werden, daß das Herabfallen innerhalb einer Zeit von 8 Secunden geschieht, oder die Linse desselben ist beweglich, um seine Schwingungen willkürlichen Zeiten anzupassen. Der Gebrauch, den man von dieser Maschine machen will, ist ein doppelter. Erstlich zu zeigen, daß die Fallräume den Quadraten der Zeiten proportional sind; zweitens die Geschwindigkeit, welche der fallende Körper wirklich in einem bestimmten Augenblicke erlangt hat, anzugeben, oder zu zeigen, daß sie der Theorie gemäß ist. Die Vorbereitung zu diesen Versuchen besteht nur darin, daß man die Maschine in eine genau verticale Stellung bringe, und das richtige Uebergewicht, um einen bestimmten Fallraum in

Fig.
12.

der Secunde zu erhalten, berechne. Um das erstere zu erhalten, bringt man die durchbrochene Unterlage, deren Kreisöffnung die Gewichtsscheiben bequem, aber ohne zu großen Raum übrig zu lassen, durchläßt, ziemlich tief an der Säule so an, daß das Gewicht hindurch geht, und corrigirt die Stellung der Säule mit Hilfe der Schrauben E, E, so lange, bis das Gewicht frei, ohne anzustossen, durchgeht. Diese Unterlage, wird durch den um die Säule passenden Arm ws gehalten, und durch eine Feder bei s an die Säule fest angedrückt. Um aber das zu einer bestimmten Beschleunigung erforderliche Uebergewicht zu finden, muß man so verfahren. Wir wollen annehmen, die Zolle wären Pariser Zollé und man verlange, daß der Fallraum in der ersten Secunde 1 Zoll betragen solle, so muß, da 1 Zoll gleich dem 181sten Theile der natürlichen

Fallhöhe ist, die Beschleunigung auf $\frac{1}{181}$ herabgesetzt werden;

also, wenn man auf das Moment der Trägheit der Scheibe nicht achtet, und mit P das eine, mit P + q das andere Gewicht be-

zeichnet, so muß $\frac{q}{2P+q} = \frac{1}{181}$ seyn, indem die bewegende

Kraft gleich dem Uebergewichte q, die bewegte Masse = 2P + q

ist, und jene Kraft auf eine Masse $= q$ verwandt die volle Geschwindigkeit der frei fallenden Körper, auf $2q$ verwandt die halb so große Geschwindigkeit u. s. w. hervorbringen würde, also nur $\frac{1}{181}$ der Geschwindigkeit, wenn die Masse $= 181. q$

ist. Es müßte also $180. q = 2P$, $q = \frac{1}{90} P$ seyn, das ist 50

Gran, wenn man jedes der beiden Gewichte auf 4500 Gran eingerichtet hätte. Um genau zu rechnen, muß man zu dem Gewichte $2P$ noch das auf die Entfernung der Schnur reducirte Gewicht der Rolle K rechnen; denn auch diese Masse muß mit in Bewegung gesetzt werden. Ist die Rolle so gearbeitet, daß sie durchbrochen, wie ein Rad, nur dünne Räder, zu Verbindung des festen Randes, in dem die Schnur läuft, mit der Axe, darbietet, so liegt fast ihre ganze Masse nahe in eben der Entfernung vom Mittelpunkte, wie die Schnur selbst, und erhält fast eben die Geschwindigkeit, wie die Gewichte; daher man dann sehr unbedeutend fehlt, wenn man das ganze Gewicht der Rolle mit den angehängten Gewichten und der Schnur zusammen unter $2P$ versteht.

Findet man es zu unbequem, erst das für den Fallraum $= 1$ Zoll in der ersten Secunde erforderliche Uebergewicht auszurechnen, so kann man statt des Secundenpendels ein Pendel, an welchem die Linse sich verschieben läßt, nehmen, und dieses so stellen, daß es 8 Schläge thut, während das mit einem Uebergewicht versehene Gewicht die ganze Scale von 64 Zollen durchläuft; diese Stellung der Pendellinse läßt sich durch einige Versuche leicht erhalten und dient für jedes willkürliche Uebergewicht; hier will ich indeß annehmen, man habe die Anordnung richtig nach dem Secundenpendel gemacht.

Um nun erstlich zu zeigen, daß die Fallräume den Quadraten der Zeiten proportional sind, hängt man das Gewicht mit seinem gehörigen Uebergewichte an, und stellt das vor der Scale hängende so, daß seine untere Fläche genau neben dem Nullpunkte sich befindet. Hat man diese Stellung erreicht, so drückt man den bis dahin von M entfernten Hebel an M an, damit er die Schnur gegen M herandrücke und festhalte. Man achtet dann auf die Schläge des Secundenpendels, und im Momente eines Pendelschlages stößt man den Hebel zurück und

fängt die Schläge des Pendels zu zählen an. Ist alles richtig angeordnet, so kommt mit dem Ende der 8ten Secunde das Gewicht auf dem Boden bei F an und hat also 64 Zoll in 8 Secunden durchlaufen. Um einen zweiten Versuch für eine andre Fallzeit, zum Beispiel 5 Secunden anzustellen, wird eine Unterlage, die nicht durchbrochen ist, sondern die feste Fläche $uvxy$ ohne Oeffnung darbietet, so an die Säule gesetzt, daß sie auf 25 Zoll anliegt; der vorige Versuch wird genau eben so wiederholt, aber am Ende der 5ten Secunde hört man das Gewicht aufschlagen. So kann man sich für alle einzelne Secunden überzeugen, daß der Fallraum 1 Zoll in der ersten, 4 Zoll in den 2 ersten, 9 Zoll in den drei ersten Secunden betrage u. s. w.

Bei diesen Versuchen konnte das den übrigen Gewichten zugelegte Uebergewicht jede beliebige Gestalt haben; bei den folgenden, wo die durchbrochene Unterlage ihre Dienste thut, muß das Uebergewicht die Form eines Stäbchens, dessen Länge den Durchmesser des Kreises zz übertrifft, haben, oder aus mehreren solchen Stäbchen bestehen. Soll nämlich gezeigt werden, welche Geschwindigkeit der fallende Körper in einem bestimmten Punkte erlangt hat, so muß in diesem Punkte das Uebergewicht abgehoben werden, damit der Körper ohne neue Beschleunigung, mit der einmal erlangten Geschwindigkeit fortgehe. Dieser Zweck wird durch die durchbrochene Unterlage erreicht, welche das Hauptgewicht durchläßt, aber das Uebergewicht abhebt, oder das Stäbchen, welches als Uebergewicht diente, zurückbehält. Es sey diese Unterlage so an der Säule befestigt, daß sie genau in dem Augenblicke das Uebergewicht abhebt, wo die untere Fläche OP bei 25 Zoll ankommt: so wissen wir nun, daß die Fallzeit bis dahin, wenn man das Fallen wie vorhin von Null anfangen läßt, 5 Secunden beträgt. Am Ende der fünften Secunde ist die erlangte Geschwindigkeit nach der Theorie $= 2g \cdot t = 2 \cdot 1 \cdot 5$, weil hier $g = 1$ Zoll der Fallraum in der ersten Secunde ist, und wenn der Körper nur diese Geschwindigkeit unbeschleunigt behielte, so würde er am Ende der 6ten Secunde bis 35 Zoll, am Ende der 7ten Secunde bis 45 Zoll, am Ende der 8ten bis 55 Zoll gelangen, und wenn man auf 55 Zoll die undurchbrochene Unterlage angebracht hat, so wird man das fallende Gewicht dort mit dem Ende der achten Secunde aufschlagen hören. Will man ihn un-

Fig.
12.

ten bei 64 aufschlagen lassen, so ist es bequem, die durchbrochne Unterlage auf 16 Zoll oder vielmehr so anzubringen, daß das Uebergewicht abgehoben werde, indem die Grundfläche des Gewichts auf 16 Zoll ankömmt; dann hat es hier eine Geschwindigkeit von 8 Zoll in der Secunde und indem es mit dem Ende der 4ten Secunde 16 Zoll, mit dem Ende der 5ten Secunde 24 Zoll und so ferne erreicht, so schlägt es erst mit dem Ende der 10ten Secunde unten auf.

Die mancherlei Abänderungen, die man bei den Versuchen machen kann, indem man das Uebergewicht gröfser oder kleiner nimmt und so den Fallraum jedesmal anders bestimmt, die Beschleunigung aber immer der Gröfse $\frac{q}{2P + q}$ gleich findet, und andre, will ich hier nicht anführen, da das bisher Gesagte schon zeigt, daß dieses Instrument ungemein viel Belehrung darbietet, ja sogar uns die Gröfse des Fallraums der frei fallenden Körper ziemlich genau angeben würde, wenn nicht dazu schon bessere Mittel bekannt wären.

B.

F a l l s c h i r m .

Parachute; *Fall-breaker*; nennt man eine schirmartige Vorrichtung, womit Gegenstände aus großen Höhen herabfallen können, ohne beschädigt zu werden, weil durch den Widerstand der Luft gegen dieselbe die Fallgeschwindigkeit genügend verzögert wird. Die erste Idee hierzu entlehnte LE NORMAND, Professor zu Montpellier, aus einer Nachricht, daß indische Sklaven sich zur Belustigung der Könige vermittelst eines Sonnenschirms aus beträchtlichen Höhen herabzulassen pflegten, und er versuchte es daher selbst den 26sten Nov. 1783, die fischbeinernen Stäbe eines Regenschirms von 30 Z. Durchmesser zur Verhütung des Zurückschlagens an den Enden mit Bindfäden festzubinden, und diesen in der Hand haltend von der ersten Etage eines Hauses herabzuspringen. Weitere Versuche machte er mit Thieren, welche an einem ähnlichen Schirme von 28 Z. Durchmesser unbeschädigt vom Observatorio herabfielen. Für einen Menschen berechnete er die erforderliche Gröfse eines Fallschirms zu 14 Fuß Durchmesser, und schlug die Gestalt eines Conus als die bequemste vor. Einige dieser Versuche sah J. MONTGOLFIER mit an, und wiederholte sie nachher in Verbin-

dung mit einem gewissen BRANTE, indem sie eine Vorrichtung von Leinwand in Gestalt einer Halbkugel 7—8 F. im Durchmesser haltend verfertigten, vom Rande derselben 12 Seile 7 F. lang herabhängen ließen, diese unter der hohlen Fläche der Halbkugel vereinigten, einen Korb aus Weiden geflochten daran banden, und in diesem einen Hammel vom höchsten Thurme in Avignon mehrmals herabfallen ließen, ohne daß er im mindesten Schaden erlitt¹. BLANCHARD wiederholte diese Versuche, indem er zuerst Thiere von seinen Aërostaten aus beträchtlichen Höhen mit einem Fallschirme herabfallen ließ, und es zuletzt in Basel selbst wagte, sich damit herabzulassen. Hierbei hatte er das Unglück, auf Bäume zu fallen, und ein Bein zu brechen, weswegen er den Versuch nicht wiederholte. Der von ihm gebrauchte Fallschirm, so wie derjenige, womit GARNERIN am 1sten Brumaire 1797 im Jardin de Mousseaux herabfiel, glich einem großen Regenschirme, welcher halb ausgespannt zwischen dem Ballon und der Gondel, eine Art von Zelt über dem Aëronauten bildete. Als er sich durch den Widerstand der Luft öffnete, hatte er 25 F. im Durchmesser, bestand aus Leinwand, und zeigte in diesem und in andern Fällen beim Fallen dasjenige Phänomen, was aus der Theorie eben so sehr folgt, als für die praktische Anwendung von großer Bedeutung ist, er gerieth nämlich durch den Widerstand der Luft in starke Schwankungen, wie sie bei einem fallenden Blatte zu seyn pflegen. Später wiederholte GARNERIN den Versuch öfter, und in London am 21sten Sept. 1802 schon zum fünften Male².

Beim Herabfallen mittelst eines Fallschirmes muß man die Schwere des Ganzen im Schwerpunkte vereinigt annehmen, den Widerstand der Luft kann man aber als gegen einen Punkt gerichtet ansehen, welcher wenig *unter* dem Schwerpunkte des Fallschirms, und daher *über* dem Schwerpunkte der ganzen Masse liegt. Wenn nun der Schwerpunkt sich nicht senkrecht unter dem Widerstandspunkte befindet, so wird letzterer über ersterem pendelartig oscilliren, und zwar so viel schneller, je kleiner der Abstand beider ist, und fielen beide zusammen, so könnte der Fallschirm ganz umschlagen. Es ist daher rathsam,

¹ Ann. de Chim. XXXI. 269. G. XVI. 156.

² S. G. XVI. 88.

die Last tiefer unter den Schwerpunct des Fallschirms anzubringen, und dem letzteren einen längeren Stiel zu geben, um das Oscilliren seines Widerstandspunctes um einen über dem Schwerpuncte liegenden Punct zu verhüten¹. Die Schwankungen des Fallschirmes, womit sich GARNERIN nach seinem Auffluge zu London am 21sten Sept. 1802 von einer unglaublichen Höhe herabließ, machte nach NICHOLSON'S² Berichte Schwankungen, deren jede ohngefähr 6'' dauerte, und so stark waren, daß der Fallschirm sich halb schloß, aber wieder ganz öffnete, wenn die Gondel lothrecht unter demselben hing. Der Fallschirm hatte 30 Fufs im Durchmesser, und seine Schwankungen wurden kleiner, als er der Erde näher kam. Dicht über dem Boden erhielt GARNERIN einige heftige Stöße, befand sich sehr unwohl, wurde aber bald wieder hergestellt³.

Außer dieser im Bau des Fallschirms und dem Widerstande der Luft gegen denselben liegenden Veranlassung zu Schwankungen, wird er in solche sicher auch durch das ungleiche Ausweichen der comprimirten Luft, durch die nicht völlig horizontal liegende Widerstandsfläche und durch die Luftbewegungen selbst versetzt, weil sonst die Größe derselben überhaupt und ihre Zunahme nicht füglich erklärbar wären.

Sucht man die Größe eines Fallschirms, welcher sich mit einer gegebenen Geschwindigkeit bewegen soll, so erhält man diese, wenn man berücksichtigt, daß der Widerstand der Luft bei gleicher Geschwindigkeit der Bewegung der gegen die Luft bewegten Flächen proportional ist, und daher das gegebene Gewicht des Fallschirms und der daran hängenden Last dem Widerstande für die bestimmte Geschwindigkeit gleichgesetzt werden muß.

Unter dem Artikel: *Widerstand der Mittel* befindet sich die von HUTTON berechnete Tafel des Widerstandes gegen eine Fläche von $\frac{2}{3}$ Quadrat F, für die verschiedenen Geschwindigkeiten in Unzen nach Lond. Maß und Troygewicht, woraus die Größen entlehnt werden können. Es soll z. B. ein Schirm gesucht werden, womit ein Mann von 150 \mathcal{L} Gewicht mit 10 F.

1 S. Gilbert XVI. 14. aus *Décade philos. lit. et mor.* An VI. No. 4. p. 237.

2 S. Nich. Journ. III. 143.

3 Hutton Dict. 44.

Geschwindigkeit herabfällt, oder mit einer solchen, welche er durch einen Sprung von 1,562 F. engl. Höhe erhält¹. Die Tafel giebt für 10 F. Geschwindigkeit und $\frac{2}{3}$ Quad. F. Fläche 0,57 Unzen = 0,0475 ℔ Widerstand; mithin ist der Widerstand gegen einen Fallschirm vom Halbmesser $r = \frac{2}{3} \times 0,0475 r^2 \pi$, und dieser muß dem Gewichte des Fallschirmes und des Mannes gleich seyn. Um Ersteres zu bestimmen, sey das Gewicht einer Kreisfläche des Schirmes von 1 F. Rad. = 0,25 ℔. Indem dann die Gewichte sich verhalten wie die Flächen, d. i. wie die Quadrate der Halbmesser, so ist das Gewicht des Schirmes = $0,25 r^2$. Mithin

$$0,25 r^2 + 150 = \frac{2}{3} \times 0,0475 r^2 \pi$$

woraus $r = 18,864$ F. gefunden wird². Wäre die Masse des Fallschirmes zu schwer, so würde r unmöglich werden. Wöge z. B. die Fläche von 1 F. Rad. 1 ℔, so wäre $r^2 + 150 = \frac{2}{3} \times 0,0475 r^2 \pi$ woraus $r^2 (1 - 0,67151) = -150$ unmöglich wird. Es läßt sich hiernach also gleichfalls berechnen, welches der größte Werth des Gewichtes einer Fläche von 1 F. Radius eines solchen Fallschirmes seyn kann, nämlich für 0,67151 ℔ würde der Radius des Schirmes unendlich werden, und der Quadratwurzel jedes kleineren Gewichtes proportional abnehmen. Auf allen Fall muß also das Gewicht einer Fläche von 1 F. Rad. kleiner seyn als 0,67151 ℔, und der Fallschirm ist überhaupt um so viel besser, je leichter bei übrigens hinlänglicher Stärke die Substanz desselben ist. Das Gewicht der Stäbe und der Stange des Schirmes, welcher im Allgemeinen die Gestalt eines gewöhnlichen Schirmes haben kann, wird am bequemsten dem Gewichte des Mannes hinzuaddirt, und man kann leicht dafür Sorge tragen, daß der Schwerpunkt tief genug unter den Widerstandspunct zu liegen kommt. Uebrigens ist v in der Formel sehr geringe angenommen. Wenn man berücksichtigt, daß ein Mensch ohne Furcht vor Verletzung von 4 engl. Fuß Höhe, insbesondere auf nicht sehr harten Grund füglich herabspringen kann, so wird $s = 4$ F. und $v = 16$ F., wofür die Tabelle einen Widerstand = 1,538 Unzen = 0,128 ℔ giebt. Dieses in die obere Formel substituirt, giebt

¹ Da die Geschwindigkeit $v = 2 \sqrt{gs}$, so ist für $g = 16$ F. engl. und $v = 10$ F. $s = 1,562$ F. S. Fall No. 4.

² Vergl. Hutton Tracts of math. and phil. subj. III. 316.

$$0,25r^2 + 150 = \frac{2}{7} \times 0,128r^2 \pi$$

woraus $r = 9,807 \dots$ also fast 10 F. gefunden wird. Würde der Halbmesser gröfser, so könnte das beschwerende Gewicht auch vermehrt werden.

Der Anblick eines Menschen, welcher sich aus einer großen Höhe mit dem Fallschirm herabläßt, ist im eigentlichen Sinne schauerhaft¹. Im Anfange insbesondere ist der Fallschirm noch geschlossen, der Fall des Aëronauten daher ein beschleunigter, und sehr schnell. Erst durch den Widerstand der Luft wird der Fallschirm entfaltet, die Fallgeschwindigkeit hört auf eine beschleunigte zu seyn, indem sie vielmehr mit dem Widerstande der Luft ins Gleichgewicht kommt, und abnimmt, wenn die Dichtigkeit der Luft wächst. Es ist daher im Grunde gleichgültig, aus welcher Höhe der Aëronaut sich herabläßt, indem unter übrigens gleichen Bedingungen die Fallgeschwindigkeit, womit er auf der Oberfläche der Erde ankommt, bei den verschiedensten Fallhöhen dieselbe ist. *M.*

F a r b e.

Color; Couleur; Colour. Das Licht sowohl der selbstleuchtenden, als auch der erleuchteten Körper zeigt unserem Auge eine Verschiedenheit, die nicht von der Intensität desselben abhängt, sondern die uns als eine *Verschiedenheit der Art des Lichtes* erscheint. Diese Verschiedenheit, die keine weitere Beschreibung, keine Erklärung für den, der sie nicht durch den Anblick kennt, gestattet, ist es, was wir *Ungleichheit der Farbe* nennen.

Daß die Farbe nicht bloß in einem *verminderten Grade* des Lichtes ihren Ursprung habe, ist daraus klar, weil wir ein dunkles und helles Roth, das dennoch immer das Eigenthümliche des Roth zeigt, ein dunkles und helles Blau, das dennoch immer blau erscheint, anerkennen, und eben dadurch bekennen, daß das Eigenthümliche des Eindrucks auf unser Gesicht, welches wie im Roth, Blau, u. s. w. finden, bei allen Graden der Lebhaftigkeit und des Glanzes dasselbe bleibe. Von GÖTTE hat ganz Recht, auf das Schattige (*τὸ σκιερὸν*) der Farbe aufmerksam

¹ Am auffallendsten war Garnerin's eben erwähnter Versuch bei London.

zu machen¹; denn Körper, die farbig erscheinen, geben ein minder lebhaftes Licht, als weisse; aber gewiß liegt nicht das Wesen der Farbenverschiedenheit hierin.

Verschiedene Meinungen über den Ursprung der Farben.

2. Fast alles, was über diesen Gegenstand gesagt ist, hat von GÖTTE gesammelt²; ich werde daraus nur Weniges hier ausheben.

EPICUR sagte, die Farben wären nicht etwas dem Körper Eigenthümliches, daher man auch nicht sagen könne, daß der Körper in der Finsterniß Farbe habe³.

PLATO⁴ nennt die Farbe eine Flamme, die von jedem Körper ausfließt. — Das wäre also unsern Begriffen, die Farbe sey ein zurückgeworfenes Licht, ganz wohl entsprechend. — Aber freilich weichen die weitem Erklärungen des Sehens und der aus der Verbindung des Feuers mit der Augenfeuchte hervorgehenden Empfindung der Farbe, sehr von unsern Ansichten ab, und geben in keiner Hinsicht verständliche Aufschlüsse über die Entstehung der Farbe.

ARISTOTELES⁵ scheint ziemlich deutlich die Farben alle als Mischungen aus Schwarz und Weiß anzusehen. Weiß und Schwarz setzt er, wie Licht und Finsterniß, einander entgegen, und scheint also das Weiß als der vollsten Erleuchtung entsprechend, Schwarz als ohne alles Licht anzusehen. Kleine Theilchen, die weiß und schwarz neben einander liegen, könnten vereint weder weiß noch schwarz erscheinen, müßten also eine andere Farbe darbieten; aus den Verhältnissen der schwarzen und weißen Portionen entstehe dann eine mannigfaltige Verschiedenheit, und vielleicht gäben die Verhältnisse, die den Consonanzen in der Musik entsprechen, die angenehmsten Farben. Aber wie selbst dieser große Philosoph sich und den Leser in einem bloßen Hin- und Herreden, wodurch man dem

1 Zur Farbenlehre, von Göthe. I. Th, S. 29.

2 Der ganze zweite Theil der Farbenlehre, auf den daher die folgenden Citate gehen.

3 S. 6.

4 S. 8. und Plutarch plac. philos. I. 15.

5 S. 19.

Verständniß des Gegenstandes gar nicht näher kömmt, ermüdet, dafür dient folgende Stelle zum Beweise. „Wie die Farben aus der Mischung des Weißen und Schwarzen entstehen, so auch die Geschmäcke aus der des Süßen und Bittern. Die angenehmen Geschmäcke beruhen auf dem Zahlenverhältniß. Der fette Geschmack gehört zu dem süßen, der salzige und bittere sind beinahe eins. Der beisende, herbe, zusammenziehende und saure fallen dazwischen. Schier wie die Arten des Geschmacks verhalten sich auch die Species der Farben. Denn beider sind sieben; wenn man das Dämmrige (*γαλον*) zum Schwarzen rechnet. Daraus folgt, daß das Gelbe zum Weißen gehört, wie das Fette zum Süßen; das Rothe, Violette, Grüne, Blaue liegen zwischen dem Schwarzen und Weißen. Und wie das Schwarze eine Beraubung des Weißen im Durchsichtigen ist, so ist des Salzige und Bittere eine Beraubung des Süßen in dem nährenden Feuchten,“ u. s. w.

Von dem, was THEOPHRAST über die Farben sagt¹, kann ich hier nur Weniges anführen. Es erhellet, daß er das Schwarz als gar kein Licht zurückwerfend ansieht; daß er Grau, als aus Schwarz und Weiß gemischt betrachtet; daß er das Gelbroth als aus dem Lichte, wenn es durch reines Schwarz gemäfsiget ist, entstehend, annimmt; daß er das Blau der Luft als da erscheinend angeht, wo das Licht abnimmt und die Luft von der Finsterniß aufgefaßt wird, u. s. w.

Unter den Schriftstellern, die nach den dunkeln Jahrhunderten des Mittelalters uns einige Belehrung darbieten, hebt v. GÖTTE, ROGER BACO hervor, und sagt uns, was dieser nach seinen, in andern Schriften geäußerten Grundsätzen, unter Voraussetzung, daß er das, worauf es ankomme, richtig erkannt habe, wohl hätte sagen können; denn wirklich gesagt hat er nicht viel über die Farben. Im sechzehnten Jahrhundert leitete TELESIVS die Farben aus den Principien der Wärme und Kälte ab². Die übrigen von v. GÖTTE angeführten Schriftsteller bieten fast gar nichts Belehrendes in Beziehung auf unsern Gegenstand dar. THYLESIVS und SIM. PORTIVS³ erklären nur die Farbennamen, die bei den Alten vorkommen. Im siebzehn-

1 v. Göthe. S. 24.

2 v. Göthe. II. 217.

3 S. 173. 197.

ten Jahrhundert beschäftigten sich Mehrere mit den Farben. KEPLER¹ sagt gelegentlich, die Farbe entstehe aus einer Schwächung des Lichts. In den farbigen Körpern ist das Licht eingeboren, es ist aber verborgen, so lange sie nicht von der Sonne erleuchtet werden. DE DOMINIS nähert sich in seinen Ansichten sehr dem, was wir nachher als v. GÖTTE's eigene Ansicht erzählen werden. AGUILONIUS sieht die Farben als für sich müßig und träge an; das Licht rege sie an, entreiße sie den Körpern und mache sie thätig: *lumen est velut colorum forma*. Die Farbenreihe giebt er so an, daß Weiß, Gelb, Roth, Blau, Schwarz, auf einander folgen². CARTESIUS³ erklärt die Farben aus der Bewegung der Lichttheilchen. Das mittlere seiner Elemente besteht aus Lichtkugelchen, deren directe Bewegung mit einer gewissen Geschwindigkeit wirkt⁴. Bewegen sich die Kugelchen rotirend, aber nicht geschwinder, als der geradlinige Fortgang, so entsteht die Empfindung von Gelb, eine schnellere Drehung bringt Roth, eine langsamere Blau hervor. In Rücksicht des prismatischen Farbenbildes welches er schon kannte, gelangte er, (sagt v. GÖTTE) zu der Hauptansicht, daß eine Beschränkung nöthig sey, um diese Farben hervorzubringen. (Dieses ist nämlich in v. GÖTTE's Theorie eine Hauptansicht, von der er glaubt, daß sie von andern nicht genug beachtet sey.) ATH. KIRCHER⁵. Daß seine Ansichten sehr den v. Göthe'schen entsprechen, zeigen schon folgende wenige Worte: Die Farbe, als Eigenschaft dunkler Körper ist ein beschattetes Licht, des Lichtes und Schattens ächte Ausgeburt. Indefs spricht seine Untersuchung über das Blau des Himmels dieses nicht so klar aus; man sieht nicht so eigentlich den Grund, warum die Natur, sich aufs weiseste berathend, gerade die blaue Farbe, die aus einer ungleichen Mischung von Licht und Finsterniß bestand, gewählt habe; denn der Grund, damit wir die Himmelsräume mit Vergnügen betrachten könnten, ist

1 S. 250.

2 *Opticorum Libri 6. pag. 47. 40. v. Göthe. S. 255. 264.*

3 S. 277.

4 Obgleich Cartesius eine unendlich schnelle Fortpflanzung des Lichts annahm, so redet er hier doch von ungleichen Geschwindigkeiten. *Dioptr. p. 42.*

5 S. 279. *Kircheri ars magna lucis et umbrae. Lib. I. Pars. 3. Cap. 1. 2. 3.*

wenig gründlich, und da das Blau des Himmels doch auch sein Blendendes hat, nicht einmal wahr.

MARCUS MARCI, DE LA CHAMBRE, GRIMALDI und ISAAC VOSSIUS¹ neigen sich mehr zu der Ansicht hin, die wir bald als die Newton'sche vollständiger angeben werden. Der letztere sagt, daß in dem reinen Lichte die Farben enthalten sind, daß man dies an den Erscheinungen, die das durch eine Glaslinse in eine dunkle Kammer geworfene Licht darbietet, erkennen u. s. w. Aber er sagt freilich auch, „der Grundstoff der Farben schreibe sich von nichts anderem her, als von dem Schwefel, der jedem Körper beigemischt ist.“

FUNK² und NUGUET³ dagegen stehen ganz auf v. GÖTHER'S Seite. Aus NUGUET'S System verdient Einiges erwähnt zu werden. Er findet im prismatischen Farbenbilde, daß das Gelb mehr Licht und weniger Schatten enthält, als alle übrigen Farben, das Violett dagegen mehr Schatten als eine der andern. Wenn man dies so ausdrückt, die Erleuchtung sey am stärksten da, wo uns im prismatischen Bilde Gelb erscheint, am schwächsten da, wo das Violett liegt, so wird jeder darin leicht einstimmen. Nach seiner Ansicht, die sich besonders auf die farbigen Schatten stützt, sind alle Farben aus Gelb und Blau zusammengesetzt; das Grün ist eine Mischung aus beiden: das Roth ist Gelb mit Schatten gemischt; da aber Gelb und Blau selbst nur Mischungen von Licht und Schatten sind, so erhellet, daß alle Farben diesen Ursprung haben.

3. Deutlicher als alle früheren Physiker sprach NEWTON seine Meinung über die Farben aus, und da der größte Theil dessen, was seine optischen Schriften enthalten, auf Versuche gestützt, nichts anders als reine Aussprüche der Erfahrung enthält, (wenige Umstände ausgenommen, wo er dem, was einzelne Versuche ergeben, zu große Allgemeinheit beilegte) so haben seine Ansichten den größten Theil der Physiker für sich gewonnen.

Wenn die Sonne Gegenstände erleuchtet, so erscheinen uns diese freilich mit mannigfaltigen Farben ausgestattet; aber

1 S. 288. 295. 306.

2 Funccius de coloribus coeli, ein Buch, worin aber auch andere Farben als die des Himmels betrachtet werden.

3 v. Göthe, S. 331.

diese Erleuchtung scheint keine Farbe mehr als die andere zu begünstigen, und wir sind daher geneigt zu sagen, daß wir jeden Gegenstand mit der Farbe sehen, die ihm eigenthümlich ist, und daß das Licht der hoch über dem Horizonte stehenden Sonne farbenlos oder weiß ist. Diese Behauptung, die sich freilich auf das immer etwas trügliche Urtheil unsers Auges gründet, stützt sich auf die Vergleichung mit dem, was wir bei anderer Erleuchtung wahrnehmen. Die Oberfläche, welche im freien Sonnenlichte weiß erscheint, ist blau, wenn das auffallende Licht uns blau erscheint; in eben diesem blauen Lichte zeigen die Flächen, welche auch im Sonnenlichte blau erscheinen, diese Farbe erhöht, während rothe Flächen sich gleichfalls blau, aber minder schön darstellen, und so finden wir bei den Erleuchtungen, die wir eben aus dem Grunde farbig nennen, immer, daß sie eine Farbe schöner zeigen und mehr heben, statt daß andere entweder unscheinbar werden, oder die neue Farbe annehmen, die dieser besondern Art von Lichte angemessen ist. Die Oberflächen, die uns im Sonnenlichte im reinsten Weiß erscheinen, thun uns bei diesen Vergleichungen vorzüglich gute Dienste, und obgleich unser Auge nur dann ein genaues Urtheil über Gleichheit oder Ungleichheit der ihm erscheinenden Erleuchtung und Farbe geben kann, wenn die zu vergleichenden Gegenstände ihm zugleich vorliegen und mit *einem* Blicke übersehen werden, so sind doch die meisten der Erscheinungen, worauf es hier ankommt, auffallend genug, um immer als wahr erkannt zu werden. — Doch diese Bemerkungen gehören nicht zu den von NEWTON aufgestellten Behauptungen, die sich etwa so zusammen fassen lassen.

Die Sonnenstrahlen, obgleich sie uns ein weißes, farbenloses Licht darbieten, enthalten dennoch alle verschiedenen Farben in sich. Diese im weißen Sonnenstrahle enthaltenen Farbenstrahlen werden uns sichtbar, wenn durch Brechung die Richtung des Strahles eine andere wird, indem dann, wegen der ungleichen Brechbarkeit der in jenem Strahle enthaltenen Farbenstrahlen, diese nun nicht mehr unter sich parallel fortgehen, sondern sich von einander trennen. Man beobachtet nämlich, daß der durch ein Prisma gebrochene Strahl ein Bild, aus Roth, Orange, Gelb, Grün, Blau, Violett, die in dieser Ordnung auf einander folgen, zusammengesetzt, darstellt; diese Farben alle gehen also aus jenem weißen Strahle hervor. Sie

zeigen sich aber auch ganz als aus Zerlegung des weissen Strahles entstanden, indem zwar jeder dieser farbigen Strahlen besondere Eigenschaften zeigt; allemal aber wieder weisses Licht hervorgeht, wenn man jene so vereinigt, daß sie alle wieder in paralleler Richtung fortgehen, oder in dem erleuchteten Punkte zusammen treffen. Diese im weissen Strahle enthaltenen Farbenstrahlen werden nun nicht allein bei der Brechung im Prisma getrennt, sondern auch in unzähligen andern Fällen. Nur diejenigen Körper, welche uns weifs erscheinen, werfen alle Arten Licht gleich gut zurück, und bei ihrer Erleuchtung durch die Sonne erhalten wir daher von ihnen ein eben so gemischtes Licht, wie das Sonnenlicht ist, und dieses zurückgeworfene Licht läßt sich eben so, wie der Sonnenstrahl selbst, in Farbenstrahlen von ungleicher Brechbarkeit zerlegen. Körper, die uns schwarz erscheinen, werfen gar kein Licht zurück, oder nur diejenigen können eigentlich schwarz heißen, die gar kein Licht zurückwerfen. Farbige Körper dagegen, wenn sie uns nämlich von dem weissen Sonnenlichte erleuchtet als farbig erscheinen, zeigen die Farbe derjenigen Strahlen, die entweder einzig oder in vorherrschendem Mafse von ihnen zurückgeworfen werden. Die von ihnen zu uns gelangenden Strahlen haben eben die Brechbarkeit, wie die ihnen gleichfarbigen Strahlen im prismatischen Sonnenbilde; indess ist kaum irgend ein Körper, der so im strengsten Sinne nur *eine* Farbe zurückwürfe, daß nicht einiges fremdes Licht beigemischt sey; deshalb zeigen sich im blauen Lichte zwar selbst die Körper, die wir im weissen Lichte roth sahen, blau, aber in einem weniger lebhaften Blau, weil sie sehr wenig geschickt sind, die blauen Strahlen zurückzuwerfen.

Einen vorzüglich wichtigen Theil der Untersuchungen NEWTON's macht also die ungleiche Brechbarkeit der verschiedenen farbigen Strahlen aus. Vermöge dieser ungleichen Brechbarkeit wird der Sonnenstrahl, dessen Theile vor der Brechung alle parallel fortgingen, in Farbenstrahlen zerlegt, die uns darum einzeln sichtbar werden, weil jeder bei der Brechung eine von der Richtung des andern verschiedene Richtung erlangt und daher abgesondert sichtbar wird. Darauf beruht die in die Länge ausgedehnte Form des prismatischen Sonnenbildes, welches als aus einer ganzen Folge farbiger, runder Sonnenbilder zusammengesetzt anzusehen ist. Jeder der so getrennten Farben-

strahlen zeigt bei einer neuen Brechung eben dieselbe Refrangibilität, der rothe nämlich, der bei der ersten Brechung am mindesten brechbar war, am wenigsten von seinem Wege abgelenkt wurde, zeigt sich auch jetzt in eben dem Grade brechbar, statt dafs der zuerst stark gebrochene blaue Strahl auch bei der zweiten Brechung stärker gebrochen wird. Auf eben dieser Eigenschaft beruht es aber auch, dafs die Strahlen wieder zu einer unter sich parallelen Richtung gelangen, wenn man sie eine zweite Brechung durch ein dem ersten genau gleiches Prisma leiden läfst, welches so gestellt ist, dafs beide zusammen ein Parallelepipedum bilden. Die dann nach der Brechung durch beide Prismen hervorgehenden Strahlen sind wieder weifs, da die farbigen Strahlen so gemischt zum Auge gelangen, wie es im ursprünglichen Sonnenstrahle der Fall war.

Eben diese ungleiche Brechbarkeit findet man bei den von farbigen Körpern ausgehenden Farbenstrahlen. Bringt man eine roth bemalte und eine blau bemalte Fläche neben einander und besieht sie durch das Prisma, so findet man die Richtung, in welcher die blauen Strahlen zum Auge kommen, stärker von der ursprünglichen Richtung abweichend, als es bei den rothen der Fall ist. Diese Ungleichheit der Brechbarkeit zeigt sich in den Farbenrändern, die wir durch das Prisma an allen Flächen bemerken, die gemischtes, verschiedenfarbiges Licht zurückwerfen; solche Flächen erscheinen dagegen deutlich begrenzt, frei von diesem farbigen Rande, wenn sie mit einfarbigem Lichte erleuchtet werden.

Dafs die verschiedenen Farben in ihrer Zusammensetzung, oder indem sie gemischt auf das Auge wirken, und zwar in dem Verhältnisse gemischt, wie sie im Sonnenstrahle sind, die Empfindung des Weifs hervorbringen, läfst sich auch durch eine Mischung farbiger Stoffe in einem, jenem Verhältnifs möglichst gemäfsen Verhältnisse genommen, zeigen. Eine solche Mischung nämlich erscheint in der Sonne zwar nicht völlig weifs, weil alle Körper, und so auch diese Farbenstoffe, eine grofse Menge Licht verschlucken; aber sie zeigt sich so weifs, als man in Beziehung auf diesen Lichtverlust nur immer erwarten kann.

Da ich die einzelnen Erscheinungen nachher noch genauer angeben mufs und dabei der Newton'schen Ansicht größtentheils folgen werde, so reicht hier diese kurze Andeutung hin.

4. NEWTON'S Gegner, unter denen die meisten kaum verdienen genannt zu werden, zählt v. GÖTTE auf. Man sieht deutlich, daß der geistreichere Theil der Physiker auf seine Seite trat; nur LUCAS¹, dessen Hauptversuch ich im Art. *Brechbarkeit* No. 8. gründlich betrachtet zu haben glaube, setzte der Newton'schen Theorie etwas Gründliches entgegen, MARIOTTE² erkannte aufrichtig an, daß sich manche Erscheinungen nach NEWTON richtig erklären lassen, und wenn er Einiges nicht vollkommen mit seiner Erfahrung übereinstimmend fand, so bedachte er wohl nicht, wie schwer es ist, jede Zumischung fremden Lichtes zu vermeiden; RIZZETTI giebt (wie v. GÖTTE es ausdrückt) „ungeschickter Weise“ zu viel von NEWTON'S Behauptungen zu, obgleich er die Lehre von den trüben Mitteln zum Grunde seiner Farbentheorie machte. Die spätern Physiker erscheinen in v. GÖTTE'S Darstellung als gläubige Nachbeter dessen, was NEWTON gelehrt hatte; richtiger sagt man wohl, daß NEWTON'S Ansicht sich bei wiederholter Betrachtung immer mehr bewährte, und daß VOLTAIRE Recht hatte zu sagen, die ganze Welt werde sich endlich unterwerfen und niemand den Triumph der Vernunft auf die Länge hindern. CHASTEL trat zwar als Gegner auf, aber v. GÖTTE selbst findet aus seinem Werke nur die Invectiven gegen NEWTON'S Darstellung würdig, um mitgetheilt zu werden, da das Uebrige zur Förderung dieser Lehre wenig beigetragen habe. Fast eben dieses gilt von GAUTIER und den wenigen andern, die sich gegen NEWTON erklärten³.

Als ein sehr bedeutender Gegner NEWTON'S muß zwar L. EULER erwähnt werden; aber nicht dagegen, ob aus dem weißen Lichte durch ungleiche Brechbarkeit die verschiedenfarbigen Strahlen hervorgingen, hat EULER Zweifel erhoben, sondern hierin ist er, der durch NEWTON'S Autorität sich nie hat blenden lassen, völlig auf NEWTON'S Seite. Was er gegen NEWTON bemerkte, bedarf nur die Behauptung, daß diese ungleiche Brechung in verschiedenen Körpern so übereinstimmenden Verhältnissen folge, daß kein Aufheben der Farben möglich sey, ohne die Brechung selbst aufzuheben. NEWTON hatte

1 v. Göthe. II. 435

2 S. 446.

3 S. 529. 543.

auf diese Meinung die Behauptung gegründet, daß es unmöglich sey, dioptrische Fernröhre zu machen, die die Gegenstände farbenlos zeigten; und auf NEWTON's Autorität gestützt, glaubte DOLLOND zuerst EULER's Ansicht für unrichtig erklären zu dürfen. Aber sehr bald siegte die Wahrheit über NEWTON's Autorität und bekanntlich wurde DOLLOND, der allerdings zuerst durch diese Autorität geblendet war, der berühmteste Verfertiger derjenigen Fernröhre, die er vorhin für unmöglich gehalten hatte. Der ganze Streit gehört, da er nicht den Ursprung der Farbenstrahlen aus dem weißen Strahle betrifft, nicht hierher; aber er zeigt, wie Unrecht v. GÖTTE hat, wenn er glaubt, NEWTON's große Autorität sey es, welche alle Physiker bewogen habe, seine Irrthümer für Wahrheit anzusehen.

Aber dieser Sieg der Newton'schen Farbenlehre ist dennoch aufs Neue zweifelhaft geworden durch den Beifall, welchen v. GÖTTE's Farbenlehre und die dieser beigefügten, hart tadelnden, Einwurfe gegen NEWTON in Deutschland gefunden haben. Diese Farbenlehre geht zwar von Phänomenen aus, die jeder mathematische Physiker nach NEWTON's Ansichten vollkommen befriedigend meint erklären zu können; aber da v. GÖTTE diese Erklärung nicht mit seinen Vorstellungen vereinigen konnte, so übersieht man leicht, wie die Ueberzeugung in v. GÖTTE entstehen mochte, NEWTON sey nur durch Eigensinn und durch absichtliches Verhehlen dessen, was sich nicht mit seiner Theorie vertragen, dazu gelangt, seiner Meinung einen Schein von Wahrheit zu geben, und seine Nachfolger hätten bloß als Vorurtheilsvolle, durch Autorität geblendete Anhänger seine Vertheidigung übernommen.

5. VON GÖTTE erzählt selbst¹ seine ersten optischen Versuche. Er betrachtete durch das Prisma die Wand eines völlig geweißten Zimmers und erwartete die ganze weiße Wand nach verschiedenen Stufen gefärbt zu sehen²; er war verwundert, sie

¹ Farbenlehre, II. 678.

² Man kann sich hier der Frage nicht enthalten, wie sollte denn die Wand gefärbt seyn? — Sollte das eine Siebentel roth, das zweite orange u. s. w. seyn? — Dann müßte sich aber ja die Ausdehnung des Roth ändern, wenn die Länge der Wand sich änderte. Oder sollte die ganze Wand in bunte Streifen getheilt seyn, wo an jedes Violet sich wieder Roth anschloße? — Aber wie breit sollte denn dieser Streifen seyn? — Es scheint, daß v. Götthe sich eine

noch immer weiß zu sehen, so daß nur, wo ein dunkles daran stiefs, sich eine mehr oder weniger entschiedene Farbe zeigte; es bedurfte für ihn keiner langen Ueberlegung, um zu erkennen, daß zum Entstehen dieser Farbe eine Grenze nothwendig sey; und so sprach er durch einen Instinct sogleich aus, daß die Newton'sche Lehre falsch sey. Die beiden sich immer einander entgegengesetzten Ränder, das Uebereinandergreifen über einen hellen Streif und das dadurch entstehende Grün, wie die Entstehung des Rothen beim Uebereinandergreifen über einen dunkeln Streif; alles entwickelte sich vor ihm nach und nach. Der Gegensatz von warmen und kalten Farben der Maler zeigte sich hier in abgesonderten blauen und gelben Rändern. Das Blaue erschien gleichsam als Schleier des Schwarzen, so wie sich das Gelbe als ein Schleier des Weißen bewies. Das alles schloß sich an dasjenige an, was die Kunst von Licht und Schatten lehrt u. s. w. — v. GÖTTE zog einen Physiker zu Rathe, der ihm sagte, alle diese Phänomene wären NEWTON und allen Physikern bekannt und längst erklärt; aber es gelang weder diesem, noch ist es später irgend jemand gelungen, dem berühmten Verf. der Farbenlehre klar zu machen, was man unter ungleicher Brechbarkeit verstehe, und warum man behaupte, das Violett werde stärker als das Gelb gebrochen. Die Newtonianer haben es sehr übel genommen, daß v. GÖTTE sich darin nicht finden konnte; aber man hatte Unrecht, von einem großen Dichter, der die Farben mit dem Auge des Malers betrachtete, zu fordern, daß er mit mathematischer Schärfe den Weg des Lichtstrahls verfolgen sollte.

„Ein entschiedenes *Aperçu* ist als eine inoculirte Krankheit anzusehen,“ sagt v. GÖTTE selbst, — „man wird sie nicht los!“ — und so schritt also das Bestreben, NEWTON zu widerlegen und die neue Farbenlehre zu befestigen, fort. Die *Beiträge zur Optik* erregten wenig Aufmerksamkeit, und ich gehe daher gleich zu dem schon oft angeführten Hauptwerke: *Zur Farbenlehre*, — über, welches 1810 erschien. Ich theile den Inhalt etwas umständlich mit.

Um nicht dem Vorwurfe ausgesetzt zu seyn, als liefse ich etwas fehlen, das vielleicht zu besserer Begründung nöthig wäre,

ganz klare und präzise Beantwortung der Frage, was nach NEWTON denn eigentl. erfolgen müsse, nie gegeben hat.

theile ich hier auch den Inhalt des ersten Abschnittes dieses Buches mit, obgleich „die physiologischen Farben“ nicht eigentlich zu dem hier zu betrachtenden Gegenstande gehören.

„Die Retina befindet sich, je nachdem Licht oder Finsternis auf sie wirken, in entgegengesetzten Zuständen; im ganz finstern Raume wird uns ein Mangel empfindbar, dem Auge fehlt jené reizende Berührung mit der äufsern Welt; im starken Lichte wird das Auge geblendet, es ist überspannt, statt dafs es dort in der höchsten Abspannung von Empfänglichkeit war. Bei dem, was wir Sehen heifsen, befindet sich die Netzhaut zu gleicher Zeit in verschiedenen Zuständen; die höchste, nicht blendende Helle wirkt neben dem völlig Dunkeln, und zugleich werden wir alle Mittelstufen des Helldunkeln und alle Farbenbestimmungen gewahr. Schwarz und Weifs geben, gleichzeitig betrachtet, dem Auge neben einander die Zustände, die wir als nach einander durch Licht und Finsternis bewirkt, angeben. Beide Zustände, zu welchen das Organ durch solche Bilder bestimmt wird, bestehen auf demselben örtlich, und dauern selbst nach Entfernung der äufsern Veranlassung noch eine Weile fort. Blicken wir von dem glänzenden Gegenstande auf eine graue Fläche, so sehen wir dort ein dunkles Bild, jenem glänzenden ähnlich, und die dunkle Umgebung jenes Glänzenden scheint uns hier einé hellere; es wird also eine Umkehrung des Zustandes bewirkt, die sich gut genug so erklären läfst, dafs der Ort der Retina, wohin das dunkle Bild fiel, als ausgeruhet anzusehen ist, weshalb die mäfsig erhellte Fläche, auf welche man nachher sein Auge richtet, lebhafter auf ihn, als auf den stärker in Thätigkeit gesetzten Theil wirkt. Aus denselben Gründen erscheint, wenn man eine vor grauem Grunde stehende weisse Fläche lange angesehen hat, nach dem Wegnehmen der weissen Fläche der graue Grund an derselben Stelle dunkler.“

Eine Erscheinung, die mehr mit dem Hauptgegenstande, der uns hier beschäftigt, zusammenhängt, ist folgende. „Man lasse im dunkeln Zimmer das durch eine runde Oeffnung einfallende Sonnenlicht auf weisses Papier fallen, sehe diesen erleuchteten Kreis lange an, schliesse die Oeffnung und sehe nach einem ganz dunkeln Theile des Zimmers: so wird man einé runde Erscheinung vor sich schweben sehen, in der die Mitte des Kreises hell, farbenlos, einigermassen gelb, der Rand aber purpurfarbig erscheint. Es dauert einige Zeit, bis diese Purpur-

farbe von außen herein den ganzen Kreis zudeckt und endlich den hellen Mittelpunkt völlig vertreibt. Kaum aber erscheint das ganze Rund purpurfarbig, so fängt der Rand an blau zu werden, das Blaue nimmt immer mehr den mittlern Raum ein, bis das Purpur ganz verdrängt ist; ist dann die Erscheinung ganz blau, so entsteht ein dunkler und unfarbiger Rand, der endlich das nun immer kleiner werdende Bild ganz verdrängt. Haben wir dagegen den lebhaften Lichteindruck eines erleuchteten Kreises eben so aufgenommen und sehen nun im mäfsig erleuchteten Zimmer auf einen hellgrauen Gegenstand, so schwebt ein dunkles Phänomen vor uns, das sich nach und nach von außen mit einem grünen Rande einfasst, dieser verbreitet sich hineinwärts über das ganze Bild, und nun entsteht ein schmutzig gelber, von außen immer mehr die Scheibe ausfüllender Rand, und endlich wird auch dieses von einer Unfarbe verschlungen.“

„Hat man farbige Flächen lange starr angesehen, so folgt ihm ein anders gefärbtes Bild, und zwar wenn man das durch jene Farbe angestrengte Auge auf weissen Grund richtet, sieht man Violett statt einer gelben Fläche, Blau, wenn jene orange war, Purpur (volles schönes Roth) statt des Grünen, und so umgekehrt. Die genannten Farben fordern also wechselseitig eine die andre. Das Auge verlangt dabei Totalität und schließt in sich den Farbenkreis ab; denn in dem vom Gelb geforderten Violett liegt Roth und Blau, in dem vom Roth geforderten Grün liegt Gelb und Blau u. s. f. Etwas diesem Gemäles zeigen die farbigen Schatten. Läßt man die von zwei Lichtern geworfenen Schatten eines Gegenstandes auf eine weisse Fläche fallen, bewirkt aber, daß durch vorgehaltenes farbiges Glas das eine Licht ein farbiges Licht auf die weisse Fläche werfe, so erscheint der von diesem Lichte erleuchtete Schatten eben so gefärbt, der andre Schatten aber zeigt die zugehörige geforderte Farbe.“

„Und hier tritt nun eine wichtige Betrachtung ein¹, nämlich die Farbe selbst ist ein Schattiges (*σκιαρόν*) und wie sie mit dem Schatten verwandt ist, so verbindet sie sich auch gern mit ihm, sie erscheint gern in ihm und durch ihn, wo sich nur der Anlaß dazu darbietet. Das energische Licht erscheint rein weifs und diesen Eindruck macht es auch im höchsten Grade der

¹ v. Göthe's Worte. I. S. 29.

Blendung; das schwächer wirkende Licht kann zwar auch farbenlos bleiben, aber es findet sich leicht eine Farbenerscheinung dabei ein. Die Retina kann durch ein starkes Licht so gereizt werden, daß sie schwächere Lichter gar nicht erkennt; erkennt sie solche, so erscheinen sie farbig, und es sieht zum Beispiel ein Kerzenlicht bei Tage röthlich aus. Doch giebt es auch schwache blauliche Lichter. Wenn man nahe an eine weiße oder grauliche Wand Nachts ein Licht stellt, so wird sie von diesem Mittelpuncte aus ziemlich weit hin erleuchtet. Betrachtet man den daher entstehenden Kreis aus einiger Ferne, so erscheint uns der Rand der erleuchteten Fläche mit einem gelben, nach außen rothgelben, Kreise umgeben, und wir werden gewahr, daß das geschwächte Licht uns den Eindruck des Gelben, Rothgelben, Rothen giebt.“

6. Diesen Betrachtungen und Versuchen folgen nun die Untersuchungen über die physischen Farben, deren Inhalt folgender ist:

„Das höchst energische Licht, wie das der Sonne, des in Lebensluft brennenden Phosphors u. a. ist blendend und farbenlos; dieses Licht durch ein nur wenig trübes Mittel gesehen, erscheint gelb. Nimmt die Trübe eines solchen Mittels zu, oder wird seine Tiefe vermehrt, so sahen wir das Licht eine gelbrothe Farbe annehmen, die sich endlich zum Rubinrothen steigert. Wird hingegen durch ein trübes, von einem darauf fallenden Lichte erleuchtetes Mittel die Finsterniß gesehen, so erscheint uns eine blaue Farbe, welche immer heller und blässer wird, je mehr sich die Trübe des Mittels vermehrt, hingegen immer dunkler und satter, je durchsichtiger die Trübe werden mag, ja bei dem mindesten Grade der reinsten Trübe als das schönste Violett dem Auge sichtbar wird. Jenes so gemäßigte Licht erscheint nicht bloß dem Auge gelbroth, sondern wirft auch auf die Gegenstände einen gelbrothen Schein, und der blaue Himmel macht dagegen in der Camera obscura ein blaues Bild. Hieraus erhellet, warum der Himmel und dunkle Berge blau erscheinen, und warum die Sonne am Horizonte roth erscheint.“

[Gegenbemerkung. Es ist gewiß, daß es manche trübe Mittel giebt, die uns jene Erscheinungen zeigen; aber dieses ist nicht die allgemeine Eigenschaft des Trüben, sondern die Erscheinung beruht darauf, daß jene trüben Mittel die rothen und gelben Strahlen in größerer Menge durchlassen, die blauen

in größerer Menge zurückwerfen. Wäre es eine allgemeine Eigenschaft des Trüben, daß es das geschwächte Licht roth zeigte, so müßte es kein Medium geben, welches das geschwächte Licht weiß zeigte; aber ein solches Medium haben wir an den wässerigen Dämpfen, an den Wolken und feuchten Nebeln. Wenn ein dicker, nasser Herbstnebel die Erde bedeckt, und nicht eher die Sonne zu sehen erlaubt, bis sie schon hoch über dem Horizonte steht, so erscheint uns die matt durch den Nebel blinkende Sonne silberweiß, obgleich ihr Licht so geschwächt ist, daß sie das Auge gar nicht blendet. Eben so silberweiß erscheint sie uns, wenn sie durch Wolken scheint, während sie hoch über dem Horizonte steht. Und diese Erscheinung der Sonne durch feuchte Nebel und Wolken ist um so merkwürdiger, da auch der von der Sonne beschienene Nebel und die das Sonnenlicht zurückwerfende Wolken uns völlig weiß erscheinen. Wir haben hier also ein trübes Mittel, welches alle Arten von Farbenstrahlen, die im Sonnenlichte enthalten sind, gleich gut durchläßt, so daß ihre Mischung uns, der Schwächung ungeachtet, immer noch ein reines Weiß zeigt, und welches alle Arten von Farbenstrahlen in gleichem Maße zurückwirft, weshalb sie uns vom Sonnenlichte beschienen, (oder indem wir [mit GÖTTE zu reden,] durch sie die Finsterniß sehen,) als rein weiß erscheinen.

Andre trübe Mittel, z. B. die von wässerigen Dünsten freie Luft, der Rauch u. a. haben dagegen die Eigenschaft, zwar alle Farbenstrahlen in einigem Maße, aber doch die gelben und rothen am reichlichsten durchzulassen, und dagegen die blauen Strahlen reichlicher als irgend eine andre Art von Strahlen zurückzuwerfen. Wie sich hieraus die Abendröthe und die Farbe der Luft bei der Dämmerung erklärt, habe ich in den Art. *Abendröthe* und *Dämmerung* gezeigt, wo ich auch bemerkt habe, daß die Abendröthe, sofern ihr Roth auch da, wo das Auge in den finstern leeren Raum gerichtet ist, beobachtet wird, sich gar nicht nach v. GÖTTE erklären läßt.

Aber GÖTTE'S eigne Worte deuten auf etwas hin, das, mehr ins Klare gesetzt, zu dieser eben entwickelten Ansicht führt. Wenn man die Finsterniß durch das trübe Mittel sieht, so fordert v. GÖTTE mit Recht, daß dieses Mittel von einem darauf fallenden Lichte erleuchtet seyn soll. Erleuchtet aber zeigt sich uns ein Gegenstand nur dann, wenn er Licht zurückwirft,

und v. GÖTTE gesteht also selbst, daß es hier das erleuchtete trübe Mittel ist, welche uns durch zurückgeworfene Strahlen sichtbar wird. Es fehlt also nichts, als daß wir hinzufügen, daß es durch zurückgeworfene *blaue* Lichtstrahlen uns als *blau* sichtbar wird.

Das hier Gesagte findet nun auch auf andere trübe Mittel z. B. weißes Glas, (Knochenglas) Anwendung. Dieses Glas wirft zwar viele Lichtstrahlen aller Art zurück, und erseht uns deshalb als weiß; aber es erscheint uns als blaulich weiß, weil ein Uebermaß blauer Strahlen zurückgeworfen wird. Wegen der sehr vielen zurückgeworfenen Strahlen ist das durchgelassene Licht überhaupt sehr schwach, und da die wenigen durchgehenden Strahlen ihr Blau gänzlich verloren haben, so muß jeder durch dieses Glas gesehene leuchtende Körper uns sehr rothgelb erscheinen, und es bliebe allenfalls nur noch die Frage übrig, ob nicht das Roth, welches uns durch dieses Glas gesehen die Sonne zeigt, nicht noch weniger Gelb enthält, als es nach dem Verluste der blauen Strahlen billig enthalten sollte.

Eine andere Betrachtung scheint mir ebenfalls anzudeuten, daß das Blau nicht bloß eine getrübe Finsterniß ist. Es giebt nämlich Sterne mit blauem, ja nach HERSCHEL, auch mit grünem und mit violettem Lichte. Haben die röthlichen Sterne ihr rothes Licht daher, weil es durch trübe Mittel zu uns kömmt, woher haben dann jene ihr blaues Licht? — Diese Frage scheint doch nur in dem Bekenntniß, es gebe ein an sich rothes, es gebe ein an sich blaues Licht, ihre Beantwortung zu finden¹.]

v. GÖTTE bemerkt ferner: „Die blaue Erscheinung an dem untern Theile des Kerzenlichtes gehört auch hieher. Man sieht diese blaue Farbe nur vor einem dunkeln Hintergrunde, und wird nichts Blaues gewahr, wenn man die Flamme vor weißem Grunde sieht. Es ist also der untere Theil der Flamme und so auch die Weingeistflamme als ein feiner Dunst anzusehen, der vor der dunkeln Fläche sichtbar wird.“

[Gegenbemerkung. Die Weingeistflamme besitzt ein eigenthümlich blaues Licht. Woher käme es sonst, daß da, wo im Dunkel die Erleuchtung allein von Weingeistflammen ausgeht,

¹ Vergl. hiermit die Beob. in Tilloch und Taylers philos. Magaz. and Journal 1824. 208. 317.

alle Körper sich auf die bekannte auffallende Weise zeigen, ganz dem gemäß, was eine Lichtmischung, in welcher Blau vorherrscht, bewirken muß. Aber auch der von v. GÖTTE angeführte Versuch braucht nur etwas vollkommener angestellt zu werden, um ein Zeugniß gegen ihn abzulegen. Es ist wahr, daß eine Weingeistflamme von 1 Zoll Durchmesser sich nicht als Blau zeigt, wenn man sie vor einem sehr hellen Hintergrunde sieht; aber man begieße auf einer Metallplatte einen schmalen, 12 Zoll langen Raum mit Weingeist, stelle am Tage ein vom bloßen Tageslichte erleuchtetes weißes Papier so auf, daß das Auge über die ganze Länge jenes Streifes nach dem Papier hinsieht: dann sieht man, nachdem der Weingeist angezündet ist, das Papier allerdings blau, oder sieht es von einer blauen Flamme verdeckt. Ist das weiße Papier von der Sonne selbst erleuchtet, so sieht man wieder kein Blau; aber es erhellet nun leicht, daß man nur eine 50 oder 100 Zoll lange Flamme anwenden dürfte, um auch hier das, in Vergleichung gegen den blendenden weißen Glanz allzu schwache, blaue Licht gewahr zu werden.]

„Der Grund des Meeres erscheint den Tauchern purpurfarben, (tief roth), wobei das Meerwasser als trübes, tiefes Mittel wirkt.“

[Gegenbemerkung. Da das Meer an der Oberfläche grün erscheint, so erhellet, daß das Meerwasser aufser den blauen Strahlen auch die grünen und viele gelbe zurückwirft; es bleiben also bei dieser Zerlegung in zurückgeworfenes und durchgelassenes Licht nur die tief rothen und vielleicht die orange und einige gelbe Strahlen übrig, welche durchgelassen werden und die Sonne dort unten als tief roth zeigen müssen. Es wäre zu wünschen, daß ein Götthianer sich einmal in der Taucherglocke auf den Boden des Meeres begäbe und dort das prismatische Sonnenbild beobachtete: er würde ganz gewiß einen sehr schwachen, grünen, blauen, violetten Farbenrand sehen, das viel weniger lang ausgedehnte Farbenbild aber bloß tief roth mit einem nicht sehr leuchtenden orangefarbenem und gelben Rande erblicken, und so aus der Tiefe des Meeres die Ueberzeugung, daß NEWTON'S Theorie die richtige ist, mitbringen.]

v. GÖTTE glaubt in dem Bisherigen die Urphänomene, aus denen sich nun die Erklärung aller einzelnen Erscheinungen er-

gebe, dargestellt zu haben¹, und ich glaube daher die Darstellung hier abbrechen zu dürfen, indem ich mir vorbehalte, seine Ansichten über einzelne Erscheinungen nach und nach am gehörigen Orte zu erwähnen.

Von den zahlreichen Anhängern von GÖTTE's sage ich hier nichts, da sie schwerlich etwas anführen können, wodurch sie diese Lehre gründlicher befestigt hätten, einige Invectiven gegen NEWTON und die Newtonianer abgerechnet².

7. Die bisherigen Erörterungen betrafen nur die nächste Ursache der Farben-Entstehung. Wenn wir aber auch, wie der größte Theil der Physiker, diese darin finden, daß die Lichtstrahlen alle Arten von Farbenstrahlen in sich enthalten, und daß bei der Brechung diese getrennt und bei dem Auffallen auf Körper nur gewisse Strahlen zurückgeworfen werden, so drängt sich uns doch noch die weitere Untersuchung auf, worin denn nun im Wesen der Lichtstrahlen der Unterschied bestehe, der die Empfindung der Farbenverschiedenheit hervorbringt. Man hat mit Recht gesagt, die ungleiche Brechbarkeit sey doch nur eine Eigenschaft der Farbenstrahlen und nicht das Wesen der Farbe selbst.

Diese Frage scheint sich mit unsern jetzigen Kenntnissen noch gar nicht beantworten zu lassen, und, das Wenige, was man darüber zu sagen im Stande ist, kömmt ungefähr auf Folgendes zurück.

Nach der *Emanationstheorie*, welche Lichttheilchen annimmt, die von den Körpern ausgehen, müssen wir eine Verschiedenheit in der Natur dieser Lichttheilchen selbst zugestehen. Die Theilchen, welche den violetten Strahl bilden, müssen eine stärkere Verwandtschaft zu den Körpern haben, und mehr von ihnen angezogen werden; dadurch wird denn allerdings eine stärkere Brechung hervorgebracht. Diese Verwandtschaft der einzelnen Arten von Lichttheilchen ist bei jedem Körper anders, und obgleich die violetten Strahlen allemal mehr als die übrigen angezogen werden, so ist doch der Grad der Verschiedenheit der Anziehung für violette, grüne, rothe Strahlen, keinesweges bei allen Körpern gleich. — Die ungleiche Zer-

¹ S. 67.

² Selbst was der verdienstvolle SEEBECK in Schweigg. Journal. I. 4. als Farbentheorie mittheilt, ist wenig belehrend.

streuung der Farben nöthiget uns, eine solche Verschiedenheit zuzugestehen.

Die in der Folge anzuführenden chemischen Wirkungen der Farbenstrahlen¹ stimmen mit der Behauptung, daß die violetten Strahlen mehr von den Körpern angezogen werden, überein; denn diese sind es, welche die größten chemischen Wirkungen hervorbringen. Was aber der Grund sey, warum verschiedene Körper die eine oder andere Art von Lichtstrahlen in größerer Menge zurückwerfen? — Worin die ungleiche Einwirkung auf unser Auge bestehe? — Diese und viele andere Fragen können wir noch nicht mit Gewißheit beantworten, da NEWTON'S Ansicht, es hänge dieses von der Größe der Theilchen ab, doch nur hypothetisch ist.

Auch die Vertheidiger der *Undulationstheorie* sehen die ungleiche Brechbarkeit der Farbenstrahlen als einen Hauptumstand an, dessen Ursache nachgewiesen werden muß. Da nach dieser Ansicht die Brechung auf einer verminderten Geschwindigkeit der Lichtwellen in dem dichtern Körper beruht, so müßte die Geschwindigkeit der violetten Strahlen am meisten vermindert werden. Dieses anzunehmen, hält EULER nicht der Natur der Sache angemessen, sondern glaubt, man müsse die Einwirkung der folgenden Lichtwellen auf die vorhergehenden in Betrachtung ziehen, und erhalte die Brechung da am stärksten, wo die Wellen am wenigsten häufig auf einander folgen, also die größten Zwischenräume lassen. Hiernach hinge also die Empfindung der Farbe von der ungleichen Zahl der in gleicher Zeit das Auge treffenden Lichtwellen ab, und die rothe Farbe erschiene uns da, wo die zahlreichsten, in den kürzesten Zeiträumen einander folgenden Lichtwellen das Auge treffen; die violetten Strahlen entsprächen den breitesten Wellen. Diese ungleichen Wellen müßten also durch entsprechende Ungleichheiten in den Vibrationen des leuchtenden Körpers zuerst erregt werden, und fänden dadurch in den von ihnen ausgehenden Lichtstrahlen statt. Wenn diese Strahlen die Oberfläche der uns sichtbaren Körper berühren, so entsteht eine kleine Zusammendrückung der Theilchen, und nun theilt sich, bei durchsichtigen Körpern, diese den benachbarten Theilchen so mit, daß die Lichtwellen durch den Körper ihren Fortgang finden;

1 S. unten No. 18.

bei undurchsichtigen dagegen wird dem umgebenden Aether durch diese getroffenen Theilchen eine neue vibrirende Bewegung eingedrückt, nach deren Verschiedenheit die uns erscheinende Farbe der Körper ungleich ist, die Farbe eines Körpers hängt also hiernach von der Elasticität ihrer kleinsten Theilchen und der Einwirkung ab, die sie auf den Aether äußern¹. Im Art. *Licht* wird die ganze Theorie noch näher betrachtet werden.

Das prismatische Farbenbild.

8. Wenn man durch eine kleine Oeffnung die Sonnenstrahlen in ein finstres Zimmer fallen läßt, so bildet sich² auf einer dem Lichtstrahle senkrecht gegenüber gestellten Ebene ein rundes Sonnenbild ohne Farben. Fängt man das Sonnenbild auf einer weissen Ebene auf, so erscheint es weifs. Aber wenn man in diesen Sonnenstrahlen ein Prisma aufstellt, so daß die Richtung der einfallenden Strahlen in einer gegen die Kanten des Prismas senkrecht gelegten Ebene des Querschnitts des Prismas liegt, so zeigen die so im Prisma gebrochenen Sonnenstrahlen ein farbiges Sonnenbild. Das sonst runde Sonnenbild erscheint in die Länge ausgedehnt, und ist am einen Ende roth, am andern violett gefärbt. Die Strahlen werden im Prisma gebrochen und jenes Farbenbild zeigt sich ganz, so wie es erscheinen müßte, wenn Strahlen von verschiedener Farbe, deren jeder eine etwas andere Brechbarkeit hätten, zugleich von der Sonne ausgingen. Wir wollen uns, als Hypothese einmal denken, die Sonne sende uns im einem Augenblick rothe, im andern grüne, im dritten violette Strahlen zu, und jede Art von Farbenstrahlen habe eine bestimmte Brechbarkeit, die aber bei den rothen Strahlen geringer als bei den grünen, bei den grünen geringer als bei den violetten sey: so würde sich uns das durch das Prisma dargestellte Sonnenbild nicht allein bald roth, bald grün, bald violett zeigen, sondern sich auch bald in Ff, bald in Hh, bald in Gg darstellen. Es würde nämlich der vom obern Sonnenrande der rothen Sonne kommende Strahl ABC nach CDF gebrochen, der vom untern Rande der rothen Sonne kommende Strahl aBc nach cdf gebrochen werden und so würde sich offenbar in Ff ein rothes Sonnenbild darstellen. Die

Fig.
13.

1 Euleri opuscula Tom. I. p. 169.

grüne Sonne würde ihre Strahlen eben so durch die Oeffnung B senden, aber da wir annehmen, die grünen Strahlen würden mehr gebrochen, so würde das durchs Prisma hervorgebrachte grüne Bild mehr von dem Orte K, wohin das ungebrochene Sonnenbild fiel, entfernt etwa in Hh liegen; das Bild der violetten Sonne, noch weiter entfernt, nach Gg fallen, und je nachdem bald die rothe, bald die grüne, bald die violette Sonne schiene, hätten wir diese ungleich gefärbten Sonnenbilder nach der Brechung auch in einer verschiedenen Lage.

Sendet die Sonne alle diese verschiedenfarbigen Strahlen zugleich aus, und sind der Farben noch mehrere, so müssen diese einzelnen Farbenbilder einander bedecken, und vereinigt ein langes Farbenbild Fg darstellen, in welchem das am wenigsten brechbare Roth am einen Ende, das am meisten brechbare Violett am andern Ende am lebhaftesten hervortreten, in der Mitte aber ein Uebergang von einem Farbenbilde zum andern statt finden wird. Wir könnten aber jene Farbenbilder einzeln dargestellt erhalten, wenn wir in L verschiedene gefärbte Mittel aufstellten; wovon das eine nur die rothen, das andere nur die violetten Lichtstrahlen und so weiter, durchliefsen, und da¹ v. Müxnow den Versuch angestellt und wirklich solche getrennte Farbenbilder erhalten hat, so haben wir alles Recht zu behaupten, jene blofs hypothetisch angenommene Voraussetzung zeige sich der Erfahrung so gemäß, daß wir uns zu dem Satze,

1 Astron. Zeitschr. von v. Lindenau und v. Bohnenberger II. 455, Die frühern Versuche von Hassenfratz (Ann. de Chimie LXVI. 314, LXVII. 5.) scheinen nicht so bekannt geworden zu seyn, als sie verdienen. Ich selbst habe diese Versuche so wiederholt, daß ich bei L eine Röhre mit gefärbten Flüssigkeiten aufstellte. Der Lichtstrahl ging durch diese mit der Axe der Röhre parallel, und traf die beiden parallelen Glasplatten, welche die Grundflächen dieses Cylinders bildeten, senkrecht. Indem er so zu dem Prisma gelangte und auf die gewöhnliche Weise gebrochen wurde, stellte sich im recht finstern Zimmer das zwar geschwächte, aber doch deutliche Sonnenbild so dar, daß, wenn die Flüssigkeit verdünnte Lakmustinctur war, das tief rothe Bild rund und mit Dunkel von allen Seiten umgeben erschien; etwas davon abstehend zeigte sich ein verlängertes blaues und violettes Bild; die orangenfarbenen und gelben Strahlen aber waren ganz unterdrückt, so daß an der Stelle des Farbenbildes die sonst die hellste ist, gar nichts zu sehen war; vom Grün zeigte sich kaum ein matter Ueberrest an dem blauen und violetten Bilde.

die Sonne sende uns wirklich solche verschiedenfarbige Strahlen zu, hingeleitet finden¹.

Diese einzelnen farbigen, runden Sonnenbilder deutlich zu sehen, hat HERSCHEL noch ein anderes Mittel angegeben². Wenn man das durch das Prisma auf die gewöhnliche Weise dargestellte, auf weißem Papier aufgefangene Sonnenbild durch ein rothes Purpurglas, woran noch ein ziemlich rein rothes Glas gelegt ist, besieht, so erscheint jenes Farbenbild völlig kreisförmig, wohlbegrenzt und tief roth. Das aus jenen zwei Glasarten zusammengesetzte Glas läßt nämlich nur die am allerwenigsten brechbaren rothen und keine anderen Strahlen durch, und für das Auge, welches durch dieses Glas sieht, ist es eben so gut als ob die übrigen gar nicht da wären; dieses Auge erkennt also das rein rothe Sonnenbild und sieht es rund, so wie es sich bei Strahlen von gleicher Brechbarkeit immer zeigen muß.

Wir sind also wohl berechtigt zu sagen, die Farbenstrahlen entstehen aus den weißen Sonnenstrahlen wirklich so, daß wir diese weißen Strahlen als aus jenen gemischt ansehen dürfen. Das in die Länge ausgedehnte Sonnenbild besteht aus einer Reihe runder Farbenbilder, die wegen ihrer ungleichen Brechbarkeit jedes auf einen andern Platz fallen, aber, nahe an einander gereiht, sich einander bedecken und daher alle Uebergänge von einer Farbe in die andere darstellen. Die sich hier zeigenden Farben sind ein *tiefes Roth* an dem Ende des Farbenbildes, wo die am wenigsten gebrochenen Strahlen hinfallen; *Orange* schließt sich daran an und bildet den Uebergang zum Gelb; an das *Gelb* schließt sich *Grün* und dann ein lebhaftes *Blau*, das weiterhin dunkler wird und endlich in *Violett* übergeht. *Violett* ist die am meisten gebrochene Farbe,

Aber nicht bloß entstehen diese Farbenstrahlen aus dem

1 Diese völlig von einander getrennten Bilder sind also keine Märchen, wie GÖTTE II. 504. meint.

2 Philos. Transact. of the Edinb. Soc. IX, 445. Auch diesen Versuch findet man bestätigt, wenn man das Sonnenbild wie gewöhnlich auffängt; es dann aber durch jene mit Lakmustinctur gefüllte Röhre besieht; auch da erscheint das rothe Bild ganz rein und rund. Dieser Versuch gelingt selbst, wenn die Verfinsterung des Zimmers nicht sehr sorgfältig zu Stande gebracht ist, statt daß der in der vorigen Anmerkung erwähnte, ein recht gut verfinstertes Zimmer fordert.

weisen Strahle, sondern ihre Mischung bildet auch wieder weifs, und aus diesem Grunde zeigt sich auch unter gewissen Umständen ein Theil des durch ein Prisma hervorgebrachten Sonnenbildes weifs. Wenn nämlich AC der vom obern Sonnenrande, a c der vom untern ausgehende, durch die Oeffnung B einfallende Strahl ist, so hat man bei g den rein violetten, bei F den rein rothen Rand des auf einer weissen Tafel NM aufgefangenen Sonnenbildes. Fiele blofs ein einziger, aus allen Farben gemischter Strahl a c ein, so würde dessen grüner Theil nach h, sein rother Theil nach f gelangen; aber ganz gewifs gelangt auch zu dem zwischen C und c liegenden Punkte u ein Lichtstrahl von einem etwas vom untern Sonnenrande entfernten Punkte, der seinen violetten Theil nach h wirft und also dort das *Grün* mit *Violett* mischt, und eben so gelangt nach einem andern Punkte v ein Sonnenstrahl, der sein *Violett* nach f wirft, wo es mit dem *Roth* des in c auffallenden Strahles und mit dem *Grün* des in u auffallenden Strahles gemischt wird; wegen dieser Mischung aller Arten von Farbenstrahlen sieht unser Auge die Fläche in f weifs, weil eine Erleuchtung durch alle Arten von Farbenstrahlen im bestimmten Verhältnifs uns die Empfindung des Weissen giebt. Eben diese Betrachtungen finden bei allen gegen die Mitte des auf NM aufgefangenen Sonnenbildes statt. Nur gegen die Grenze g hin treten *Blau* und *Violett*, gegen die Grenze F hin *Orange* und *Roth* als Farbenränder hervor, während in der Mitte das Sonnenbild weifs ist. Entfernt man die Tafel MN weiter vom Prisma, so wird, wie die Figur zeigt, das Farbenbild eines nicht gröfser, als die Sonne, erscheinenden Gegenstandes immer deutlicher hervortreten. In F' g' z. B. mischt sich, wenn der gezeichnete mittlere Strahl den grünen bedeutet, in den ganzen Theil F' f noch gar kein grünes oder blaues Licht, und an dem Roth wird sich deutlicher als in MN das Orange und Gelb zeigen; eben so wird von g' bis G' das Violett und Blau durch mindere Mischung mit Grün oder Gelb, reiner erscheinen; zwischen G' und H' sind Violett und Blau mit etwas Grün, zwischen f' und H' sind Roth, Gelb mit Grün gemischt; aber zwischen f' und G' tritt ein Grün hervor, das nur mit Blau von der einen Seite, mit Gelb von der andern Seite gemischt, aber von Violett und Roth ganz frei ist.

9. Um zu sehen, wie diese Lage der einzelnen Farbenbil-

der genau bestimmbar ist, will ich die Richtung der durch den Mittelpunct der Oeffnung B gehenden Strahlen nach der Brechung berechnen.

Es sey $ACX = \varphi$, $ABa = \alpha$, $acX = \varphi + \alpha$; die Entfernung $BC = a$, so ist $Cc = \frac{a \cdot \text{Sin. } \alpha}{\text{Sin. } (\varphi + \alpha)}$ zugleich bekannt.

Das Verhältniß der Sinus bei der Brechung sey wie $1 : \frac{m}{n}$, und

$CY = b$, so ist $\text{Cos. } DCY = \frac{m}{n} \text{Cos. } \varphi$,

und $DY = \frac{b \cdot \text{Sin. } DCY}{\text{Sin. } (DCY + CYD)}$, woraus dann auch FDY leicht gefunden wird.

Um ein wirkliches Beispiel zu berechnen, sey $Bu = 4$ Zoll $uY = 1$ Zoll, der Winkel $Y = 60$ Grade. Ich will annehmen, das Prisma sey so gestellt, daß der in Bu enthaltene grüne Strahl im Innern des Prismas die Winkel $duY = u d Y = 60^\circ$ bilde. Ich will Bu als vom Mittelpuncte der Sonne herkommend annehmen, so daß der vom untern Sonnenrande herkommende Sonnenstrahl ac mit ihm einen Winkel $uBc = 16$ Minuten macht. Die Brechungsverhältnisse nehme ich so an, wie sie nach FRAUNHOFER¹ mitgetheilt sind, für Roth = 1,63074, Grün = 1,64349, Violett = 1,65203. Dann ist erstlich für den grünen vom Mittelpuncte der Sonne ausgehende Strahl

$$duY = 60^\circ; XuB = 34^\circ 44' 23'' = \varphi,$$

$$udY = 60^\circ; ZdW = 34^\circ 44' 23''$$

Für den grünen, vom untern Rande ausgehenden Strahl ist

$$Xca = 35^\circ 0' 23''$$

$$d'cY' = 60^\circ 6' 26''$$

$$Yd'c = 59^\circ 53' 34''$$

$$Zd'h' = 34^\circ 28' 16''.$$

Die beiden grünen Strahlen divergiren fast ganz genau eben so, wie sie es vor der Brechung thaten. Es läßt sich leicht übersehen, daß dieses auch auf einen dritten grünen Strahl anwendbar sey, der vom obern Sonnenrande ausginge. Hierauf gründet sich die fast ganz genaue Kreisform eines reinen einfarbigen Bildes.

1 S. Art. *Brechbarkeit*; am Ende.

Zweitens. Aber nun enthält der Strahl Bu , für welchen der Winkel $BuX = 34^\circ 44' 23''$ ist, auch violettes Licht, welches, stärker gebrochen, ein wenig von der Richtung des grünen Strahls abweicht; für dieses ist

$$Yud = 60^\circ 10' 14''$$

$$Ydu = 59^\circ 49' 46''$$

$$ZdW = 33^\circ 52' 26''$$

Dieser violette Strahl macht also mit dem vorhin mit ihm verbundenen grünen Strahle einen Winkel von 52 Minuten; aber auch mit dem vom untern Sonnenrande herkommenden grünen Strahle einen Winkel von 36 Minuten, so daß er diesen letztern irgend wo schneiden wird.

Ich will noch die Berechnung für einen vom obern Sonnenrande herkommenden violetten Strahl hinzufügen, für welchen der Winkel

$$BCX = 34^\circ 28' 23'' \text{ würde, also}$$

$$eCY = 60^\circ 3' 54''$$

$$YeC = 59^\circ 56' 6''$$

$$ZeG = 34^\circ 8' 30''$$

Der vom obern Rande kommende violette Strahl schneidet also den aus der Mitte der Sonne kommenden grünen Strahl unter einen Winkel von 36 Minuten.

Drittens. Der vom untern Sonnenrande ausgehende Sonnenstrahl enthält zwar auch einen violetten Antheil; aber ich will hier nur den rothen betrachten, weil dieser sich zu einer Vermischung mit dem Strahle CDH hin neigt. Für diesen einfallenden Strahl ac war $acX = 35^\circ 0' 23''$

$$\text{und es ist also } Ycd = 59 \ 50 \ 56$$

$$Ydc = 60 \ 9 \ 4$$

$$Zdf = 35 \ 44 \ 36$$

so daß der rothe Strahl mit dem ihm vorhin verbundenen grünen einen Winkel von 76 Minuten und selbst mit dem von der Mitte der Sonne kommenden grünen Strahle einen Winkel von 60 Minuten macht.

Um nun zu sehen, wie die Farbenmischung in einiger Entfernung vom Prisma seyn wird, sey $Yu = 1$, $uB = 4$. Da $cCB = 34^\circ 44' 23''$ und $CBu = 0^\circ 16'$ war, so ist

$$\begin{aligned} uC & \left\{ = 0,03245; Yc = 1,03245 \text{ für den vom untern Rande} \right. \\ & \left. \left\{ = 0,03289; YC = 0,96710 \text{ für den vom obern Rande} \right. \right. \\ & \text{kommenden Strahl. } dY \text{ für den grünen Strahl} = 1; \text{ dagegen } Ye \text{ für} \end{aligned}$$

den violetten vom obern Sonnenrande herkommenden Strahl $= 0,96838$. Yd für den rothen vom untern Sonnenrande herkommenden Strahl $= 1,02927$. Zwischen dem grünen aus dem Mittelpuncte der Sonne kommenden Strahle und dem violetten vom obern Rande kommenden ist also auf der Hinterfläche des Prismas ein Abstand $0,03162$; und von eben jenem grünen bis zu dem rothen, vom untern Rande kommenden, ein Abstand $= 0,02927$. Daraus ergibt sich leicht, daß jener violette mit dem grünen aus dem Mittelpuncte in der Entfernung $= 1,70$, dieser rothe mit dem grünen aus dem Mittelpuncte in der Entfernung $= 0,98$ sich durchschneidet.

Bis zu der Entfernung $= 1$ kommen also für die hier vorausgesetzten Abmessungen in der Mitte des Bildes noch Strahlen von allen Farben vor, die hier dem Lichtstrahle dargebotene weißse Fläche wird also noch von allen Farben erleuchtet und erscheint daher, da wo die grünen Strahlen aus der Mitte der Sonne hinfallen, weiß. In größerer Entfernung findet eine so aus allen Farben zusammengesetzte Mischung der Strahlen nicht mehr statt, aber immer wird noch das grüne Sonnenbild an seiner einen Seite durch blaue, an seiner andern Seite durch gelbe Strahlen etwas von seiner Reinheit verlieren.

Es sey in einer Entfernung $YS = a$ eine Ebene ST unter dem Winkel von $55^\circ 16' = YST$ gegen die Seite des Prismas geneigt gelegt, so fängt diese die gebrochenen Strahlen ziemlich senkrecht auf, und auf ihr ist der Abstand der einzelnen Strahlen von S durch folgende Zahlen ausgedrückt:

Es sey für den aus der Mitte der Sonne kommenden grünen Strahl $dS = 20$ in Vergleichung gegen $Yu = 1$, $uB = 4$; so ist der von S an gerechnete Abstand bis zu dem Puncte, wo

1. der grüne Strahl aus der Mitte der Sonne eintrifft $= 11,397$.
2. Wo der grüne Strahl vom obern Rande eintrifft $= 11,492$.
3. Wo der grüne Strahl vom untern Rande der Sonne eintrifft $= 11,302$.
4. Wo der violette Strahl vom obern Rande eintrifft $= 11,244$.
5. Wo der rothe Strahl vom untern Rande eintrifft $= 11,684$.
6. Wo der violette Strahl vom untern Rande eintrifft $= 11,053$.

7. Wo der rothe Strahl vom obern Rande eintrifft
= 11,873.

Die Breite des Farbenbildes an dieser Stelle wäre also dem Durchmesser des grünen Sonnenbildes gleich = 0,19. Die ganze Länge = 11,873 — 11,053

= 0,82, viermal so groß, und man hätte von der Mitte des Grün bis Ende des Grün

0,095	
bis zum nächsten Violett	0,153
bis zum entferntesten Violett	0,344.
bis zum nächsten Roth	0,287
bis zum entferntesten Roth	0,476.

Das Grün nimmt, wie auch aus FRAUNHOFER's Angaben unmittelbar erhellet, nicht die Mitte des Farbenbildes ein, und die Lage der drei berechneten Bilder würde so seyn, wie die Zeichnung sie angiebt. Diese Bestimmungen bedürfen noch einer Verbesserung, weil die Oeffnung B, wodurch das Licht eingelassen wird, doch nicht ein mathematischer Punct seyn kann. Wegen dieses Umstandes ist auch dasjenige Sonnenbild, das wir ungebroschen auf einer weissen Tafel auffangen, mit einem Halbschatten umgeben und aus demselben Grunde erscheint das Farbenbild nicht so scharf begrenzt, als es bei einem durch die äusserst enge Oeffnung eindringenden Lichtstrahle der Fall seyn sollte. Diesem Umstande wird abgeholfen, wenn man ein convexes Glas vor die Oeffnung stellt; dadurch nämlich wird bewirkt, daß die von einem einzigen Puncte der Sonne ausgehenden Strahlen, obgleich sie durch verschiedene Puncte der Oeffnung gehen, in einem einzigen Puncte vereinigt werden, und wenn sie nicht durch das Prisma gingen und an dem richtigen Orte aufgefangen würden, ein ganz reines Sonnenbild, ohne Halbschatten und unabhängig von der Größe der Oeffnung, darstellen würden. Die vorigen Betrachtungen aber zeigen wohl, daß auch die Brechung im Prisma das runde Sonnenbild runder geben würde, wenn das Sonnenlicht nur eine Farbe, nur Strahlen von gleicher Brechbarkeit enthielte, und es läßt sich daher leicht der Beweis führen, daß das reine Sonnenbild nun auch ein von Halbschatten freies rothes Bild nach der Brechung durch das Prisma geben würde, wenn die Sonne uns nur rothe Strahlen zusendete, und, kurz, daß wir das prismatische Bild ganz so, wie es einer sehr kleinen Oeffnung entspräche, sehen werden, wenn wir uns des Convexglases bedienen, und das Bild

an dem der Sammlung der Strahlen entsprechenden Punkte hinter dem Prisma auffangen¹.

10. Die eben geführte Berechnung zeigt, daß der Durchmesser jedes Sonnenbildes von der Größe ihres scheinbaren Durchmessers abhängt; die Entfernung der Mittelpunkte des rothen und violetten Bildes aber durch die ungleiche Brechung dieser verschiedenfarbigen Strahlen bestimmt wird. Es werden daher die in Fig. 14. dargestellten Sonnenbilder weniger in einander greifen, die Farben werden reiner von einander getrennt erscheinen, wenn man ein Bild von kleinerem Halbmesser sich verschafft.

Fig. 16. Es sey B eine Oeffnung von einer Linie Durchmesser, durch welche die Sonnenstrahlen einfallen; man stelle dem durch sie einfallenden Sonnenstrahle in 40 Zoll = 480 Lin. Entfernung eine andere kleine Oeffnung C gegenüber, so kann nicht mehr die ganze Sonne ihre Strahlen auf C werfen, sondern der Sehwinkel, unter welchem von C aus die Oeffnung B erscheint, wird nur etwas über 7 Minuten betragen, und bei der vorigen Stellung des Prismas gegen die Oeffnung C würde das Sonnenbild nun wie in Fig. 17. erscheinen, wo ef das rothe, cd das grüne, ab das violette Bild darstellt, die also weit besser unvermischt erscheinen.

Erst wenn man die Strahlen so von einander getrennt hat, kann man genaue Versuche über das homogene einfarbige Licht anstellen, z. B. die bestimmte Brechbarkeit jedes einzelnen Farbenstrahls angeben; und selbst dann können die Versuche nur da glücken, wo alles fremde Licht ausgeschlossen ist.

11. Daß man durch die Mischung aller Strahlen wieder Weiß erhält, läßt sich aus dem Vorigen übersehen, indess ist folgender Versuch NEWTON's zu wichtig, um hier übergangen zu werden². Man lasse das durch das Prisma in Farbenstrahlen zerlegte Licht auf ein hinlänglich großes convexes Linsenglas fallen, damit dieses divergirende Licht in einer gewissen Entfernung hinter dem Glase in ein Bild gesammelt werde. Hält man dann ein weißes Papier zwischen dem Glase und dem Punkte, wo das Bild sich deutlich zeigt, so sieht man noch die

¹ Newtoni Optice p. 55.

² Ibid. p. 112.

einzelnen Farben, nähert man es dem Vereinigungspuncte, so rücken die Farben näher an einander, und im Vereinigungspuncte sind sie völlig vermischt und zeigen ein ganz reines Weiß, ein rundes, weißes Sonnenbild. Jenseits des Vereinigungspunctes trennen sich die Farbenstrahlen wieder und erscheinen in umgekehrter Ordnung, so daß das vorhin am untern Rande erscheinende Roth nun am obern Rande liegt u. s. w.

Wenn man das weiße Papier in jenem Vereinigungspuncte aufstellt; aber einige Farbenstrahlen hindert, auf das Glas zu fallen, so erhält man nicht mehr ein weißes Sonnenbild, sondern ein so gefärbtes Bild, wie es die Mischung der noch übrigen Farben fordert, nämlich orangefarben, wenn man die violetten, grünen und blauen Strahlen ausschließt, und so in allen andern Fällen.

12. Diese Behauptungen sind es, gegen welche v. GÖTTE mit einer auffallenden Bitterkeit in seiner Farbenlehre kämpft. Die dortigen Einwürfe einzeln zu beleuchten, ist aber unnöthig, da die Newton'sche Theorie sich durch ihre Anwendung überall rechtfertigt und nur da, wo die Thätigkeit unsers Auges einwirkt, Einiges übrig bleibt, wovon sich nicht genau Rechenschaft geben läßt.

Man hat seit langer Zeit denen, die das Copernicanische Weltsystem und die Newton'schen Attractionsgesetze nicht als richtig anerkennen wollen, nichts anders entgegen zu setzen nöthig gefunden, als daß alle Erscheinungen am Himmel sich nach diesem Systeme und nach diesen Attractionsgesetzen voraus berechnen lassen, und daß man nur denen Gehör zu geben brauche, die entweder in diesen Rechnungen Fehler und in ihren Resultaten Abweichungen von der Erfahrung nachweisen, oder eine neue Theorie, eben so geeignet zur pünctlichen Vorusberechnung, und eben so vollkommen mit den Erscheinungen zusammenstimmend aufstellen. Eben so, glaube ich, kann man sagen: da die Lehre, daß die verschiedenfarbigen Lichtstrahlen aus dem weißen Lichtstrahle entstehen und ungleiche Brechbarkeit besitzen, zur Berechnung der Fernröhre mit so entschiedenem Glücke angewandt ist, da DOLLOND und FRAUNHOFER, unstreitig die größten Künstler, die man in Beziehung auf diesen Gegenstand nennen kann, in ihr die Grundlage der Kunst, farbenlose Bilder in den Fernröhren zu erhalten, fanden, und sich ihrer zu genauen rechnenden Bestimmungen bedient

haben, die mit der Erfahrung in vollkommener Uebereinstimmung sind: so hat man nur nöthig, diejenigen Einwürfe zu berücksichtigen, die in diesen Rechnungen Fehler aufdecken, und nur diejenigen neuen Theorien können hoffen, einst die Stelle der Newton'schen einzunehmen, die eben so die Grundlage zur Berechnung achromatischer Fernröhre abgeben können. VON GÖTTE'S Theorie wird auf diesen Ruhm, daß man mit ihrer Hülfe achromatische Fernröhre berechnen könne, gewiß nie Anspruch machen, da sie nichts enthält, was je zu rechnenden, genauen Bestimmungen führen könnte, sondern sich mit Ausdrücken begnügt, die einem mathematischen Physiker immer als höchst unbefriedigend erscheinen müssen. Ich werde dies jetzt umständlicher zeigen. V. GÖTTE'S Worte machen hier den Text, die in Klammern eingeschlossnen Bemerkungen den Commentar oder die Noten aus.

„Gegenstände durch mehr oder minder dichte Mittel gesehen, erscheinen uns nicht an der Stelle, an der sie sich nach den Regeln der Perspective befinden sollten. Wir können dies so ausdrücken, daß der Bezug der Gegenstände verändert, verrückt werde; es zeigt sich eine Verrückung des Gesehenen. Diese Verrückung bleibt uns unkenntlich, so lange keine Grenze des Gesehenen ins Auge gefaßt wird, und deshalb halten wir uns vorzüglich an die Verrückung des begrenzt Gesehenen, oder an die Verrückung des Bildes. Die Refraction kann ihre Wirkung äußern, ohne daß man eine Farbenercheinung gewahr werde. So sehr auch das unbegrenzt Gesehene, eine farbenlose oder einfach gefärbte Fläche, verrückt werde, so zeigt sich keine Farbe.“

[Da V. GÖTTE dieses als einen Einwurf gegen die Newton'sche Theorie betrachtet, so muß ich wohl einige Worte über diesen Gegenstand sagen. Wenn ich eine völlig weiße Wand durch das Prisma ansehe, so erscheint sie allerdings weiß, und dies aus Gründen, die eben nicht so schwer verständlich scheinen. Es sey a ein Punct der Fläche, der sich übrigens durch nichts von dem neben ihm liegenden b, oder vielmehr von allen denen, die um und neben ihm liegen, auszeichnet, indem sie alle als weiß vorausgesetzt werden, und hier von keiner Grenze die Rede seyn soll. Da a weißes Licht auf das Prisma sendet, so wird dieses in seine Farbenstrahlen zerlegt, und de sey der äußerste violette, dg der äußerst rothe Strahl. In ef

Fig.
18.

befinde sich die Oeffnung des Auges, welches also von a den violetten Strahl empfängt. Es sey ferner b ein anderer Punct der Fläche, gerade so liegend, daß ein von ihm auf das Prisma fallender Strahl so gebrochen werde, daß er seinen äußersten rothen Theil parallel mit de, in if auf das Auge sende; dann läßt sich doch wohl leicht einsehen, daß zwischen a und b eine Reihe von Puncten liegt, die alle Arten von Strahlen von mittlerer Brechbarkeit, (der eine den orangefarbenen, der andere den gelben, der dritte den grünen Strahl und so alle zwischenliegenden) zwischen de, if, und parallel mit ihnen, dem Auge zusenden. Das Auge empfängt also in der Richtung de ein aus allen Farben gemischtes, also weißes Licht, und da es wegen der vorausgesetzten vollkommenen Gleichheit aller Puncte gar nicht erkennt, welchen Antheil jeder der Puncte an dieser Aussendung von Licht hat, so sagt diese Empfindung uns nur, daß wir die Gegend der Fläche, die hier unserem Auge vorliegt, die ihre Strahlen in unser Auge sendet, weiß sehen. Richten wir unser Auge nach andern Puncten des Prismas, so lassen sich eben solche Puncte der weißen Fläche nachweisen, deren gemischter und vereinigter Eindruck dem Auge Weiß zeigt.

Hierin liegt in der That ein so vollgültiger Beweis für die Behauptung, daß mitten im Weiß sich nichts von Farbe zeigen kann, daß es unbegreiflich scheint, wie v. GÖTTE¹ hier die weiße Wand „nach verschiedenen Stufen gefärbt“ zu sehen erwarten konnte; und nichts würde für mich und alle Newtonianer belehrender seyn, als wenn er uns genau zeigen wollte, welche Theile der Wand denn, nach einer consequenten Durchführung der Newton'schen Hypothese, roth, gelb, grün, erscheinen müßten. Diese Anforderung ist so billig, daß ich fest überzeugt bin, hätte jemand sie damals, als v. GÖTTE seine ersten Versuche machte, ihm vorgelegt, er sie nicht abgelehnt, dann aber auch gewiß, bei der Sorgfalt, mit welcher er damals zu zeichnen gewohnt war, sich überzeugt haben würde, daß diese Grenzen einzelner Farben mitten im unbegrenzten Weiß nirgends zu finden sind, und daß der Instinct² hier irre zu leiten im Begriff sey. Ich sehe wohl ein, daß v. GÖTTE in dem,

1 Bd. II. S. 677.

2 Ebend. S. 678.

was ich eben vorher für NEWTON gesagt habe, eben so gut wie in den Newton'schen Versuchen „Taschenspielerbedingungen“¹ finden wird; ich hoffe daher auch gar nicht mit diesem Beweise mehr zu leisten, als meine Vorgänger; aber bei mathematischen Gegenständen muß man die Bedingungen pünctlich angeben, und erhält dann auch strenge bestimmte Resultate, welche aufzusuchen freilich, wie EUKLIDES schon sagte, kein eigener Weg für Könige (und der Sängler soll ja „mit dem König gehen“,) gebahnt werden kann. —]

„An den Rändern, wo sich eine weisse oder farbige Fläche gegen einen hellern oder dunklern Gegenstand abschneidet, zeigt sich eine farbige Erscheinung; — es müssen Bilder, begrenzte Flächen, verrückt werden, wenn eine Farbenercheinung sich zeigen soll. Wird z. B. ein helles Rund auf dunkeln Grunde durch ein Linsenglas gesehen, so findet eine Verrückung nach aufsen statt, wir sehen es vergrößert, und erblicken einen blauen Rand. Den Umkreis eben desselben Bildes können wir scheinbar nach dem Mittelpuncte hinein bewegen, wenn wir es durch ein concaves Glas betrachten, wo es verkleinert, mit gelbem Rande erscheint. Diese beiden Erscheinungen zeigen sich, die blaue sowohl als die gelbe, an und über dem Weissen; sie nehmen, so fern sie über das Schwarze reichen, einen röthlichen Schein an. Wir haben hier in dem einen Falle den hellen Rand gegen die dunkle Fläche, in dem andern Falle den dunkeln Rand gegen die helle Fläche scheinbar geführt, eins durch das andere verdrängt, eins über das andere weggeschoben, — und darin liegt der Grund der Farbenercheinung. Diese Umstände kommen nun beim Prisma und überall wieder vor. Bewegen wir eine dunklere Grenze gegen das Helle, so geht der gelbe breitere Saum voran, der schmälere gelbrothe Rand folgt mit der Grenze; rücken wir eine helle Grenze gegen das Dunkle, so geht der violette Saum voraus und der schmälere blaue Rand folgt. Diese Farben lassen sich aus der Lehre von trüben Mitteln bequem ableiten. Denn wo der voreilende Saum des trüben Nebenbildes sich vom Dunkeln über das Helle zieht, erscheint das Gelbe; umgekehrt, wo eine helle Begrenzung über die dunkle Umgebung hinaustritt, erscheint das Blaue. Die voreilende Farbe ist immer die breitere. So greift die gelbe

1 Ebend. S. 681. Z. 4. v. u.

über das Licht mit einem breiten Saume, da aber, wo sie an das Dunkle grenzt, entsteht nach der Lehre der Steigerung und Beschattung, das Gelbrothe als ein schmalerer Rand u. s. w.“

[Dafs alle diese Erscheinungen sich nach NEWTON'S Theorie nicht blofs mit vagen Worten erklären lassen, sondern dafs der Weg der Lichtstrahlen sich genau berechnen läfst, ist aus dem Vorigen schon bekannt. Aber ich gestehe, dafs ich nie habe einsehen können, wo denn bei v. GÖTTE die eigentliche Erklärung dieser dioptrischen Farben liegt. Dieses trübe Nebenbild ist es ja gerade, dessen Entstehung erst erklärt werden soll, und keinesweges dadurch erklärt wird, dafs uns S. 85 mit vieler Kunst begreiflich gemacht wird, es kämen ja auch in andern Fällen Nebenbilder vor. Wie diese Nebenbilder im Glasspiegel und sonst entstehen, das ist bekannt; aber indem wir unser Auge auf den Spiegel richten, glaubt der Verf. der Farbenlehre, hätten wir die Frage vergessen, ob denn jene trüben Farbenbilder eben so entstehen? — Diese trüben Bilder sind es eben, die erklärt werden sollen. Freilich findet sich S. 88. eine Erklärung, die mit dem berühmten *horror vacui* die allergrößte Aehnlichkeit hat, aber niemand befriedigen kann. Sie lautet so: „Es entsteht also, wenn die Refraction auf ein Bild wirkt, an dem Hauptbilde ein Nebenbild, und zwar scheint es, dafs das wahre Bild einigermaßen zurückbleibe,“ „„und sich dem Verrücken gleichsam widersetze.““ — Mit der Refraction geht es also ungefähr so zu: Einige vom Bilde ausgehende Lichtstrahlen sind nachgiebiger als andre, und lassen sich zu der gesammten Fortrückung veranlassen, statt dafs andre etwas weniger geneigt sind, der Verrückung nachzugeben, oder mit NEWTON'S Worten, jene sind stärker brechbar, werden mehr von ihrem Wege abgelenkt, als diese, und zwar sind jenes die violetten und blauen, dieses die gelben und rothen. Das was GÖTTE sagt, ist also unter versteckten Ausdrücken am Ende gerade nichts anders, als die Newton'sche stärkere Brechbarkeit. Denn wenn ein Nebenbild dem Hauptbilde bei der Verrückung vorausseilt, so ist es um mehr als dieses verrückt; da nun v. GÖTTE den Ausdruck *Verrückung* statt *Brechung*, *Refraction*, anwendet, so sage ich mit gleichem Rechte, das Nebenbild ist mehr gebrochen, als das Hauptbild. Nun sehen wir dies vorausseilende Nebenbild nur da, wo es über das Hauptbild vordringt, also nur einen vordringenden Rand des mehr gebrochenen

Nebenbildes, welcher violett und blau ist. Da wo Hauptbild und Nebenbild zusammen fallen, sehen wir das Bild in vollem Lichte (weiß), aber wo die am trügsten zurückgebliebenen Theile des Bildes wieder an der hintern Seite über das, was nun einmal Nebenbild heißen soll, vorragen, da zeigen sich, als die der Verrückung am wenigsten nachgebenden, als die am wenigsten gebrochenen Strahlen, die gelben und rothen. — Wenn ich mir so v. GÖTTE's dunkle Rede verdeutliche, so kann ich sie besser fassen; aber in dieser Uebersetzung würde denn freilich auch dieser Theil der v. Götthe'schen Farbenlehre völlig über den Lethen gesetzt. Da sich alles andere in der Götthe'schen Farbentheorie auf diese Betrachtungen stützt, da die stärkere Farbenzerstreuung als ein durch chemische Mittel bewirktes weiteres Voreilen des Nebenbildes angesehen werden kann, und damit die Achromasie diesem Begriffe vom Nebenbilde angereichert wird: so ist es nicht nöthig, länger hiebei zu verweilen, und ich gehe daher zu andern Erfahrungen über das prismatische Farbenbild über.]

13. Der Raum, den jede einzelne Farbe im prismatischen Sonnenbilde einnimmt, ist ungleich, und selbst im Verhältniß gegen die Länge des ganzen Bildes ungleich, wenn man Prismen von verschiedener Materie nimmt¹. Die Abmessungen, welche NEWTON für die Theile des Bildes, die sich als Roth, Orange u. s. w. zeigen, angiebt, können daher nur als ein Beispiel dienen, in welcher Ordnung die Farben sich an einander reihen. Hätte NEWTON nicht in der nahen Uebereinstimmung zwischen den Verhältnissen dieser Räume und den Schwingungszeiten der eine Tonleiter bildenden Töne ein Naturgesetz zu erkennen geglaubt, so würde er vielleicht nicht so übereilt die Behauptung, das keine Aufhebung der Farbe bei der Brechung und eben deshalb kein achromatisches dioptrisches Fernrohr möglich sey, ausgesprochen haben. NEWTON legt den einzelnen Farben folgende Ausdehnung bei: Violett nimmt 80 Theile, Indigo 40, Blau 60, Grün 60, Gelb 48, Orange 27, Roth 45 Theile ein, wenn man das ganze Spectrum in 360 Theile zerlegt. Könnte man zugleich die Lichtstärke, die in jedem einzelnen Theile des Farbenbildes statt findet, angeben, so ließe sich über die Verhältnisse, in welchen die Far-

¹ Vergl. Art. *Zerstreuung der Farben*.

benstrahlen gemischt seyn müssen, um Weiß zu geben, etwas Genaueres bestimmen¹.

14. Welche Theile des Farbenbildes der Sonne am meisten Licht und welche am wenigsten Licht besitzen, hat HERSCHEL untersucht². Er bediente sich eines Mikroskops, womit er verschiedene Gegenstände, die bald durch die eine, bald durch die andre Art von Farbenstrahlen erleuchtet waren, betrachtete. Allemal zeigten sich die feinen Punkte, worauf er seine Aufmerksamkeit richtete, am stärksten erleuchtet, wenn sie sich in den gelben Lichtstrahlen befanden, am besten dann, wenn man sie in die Gegend des Farbenbildes brachte, wo das vollkommene Gelb in Grün überzugehen anfängt. Wenn man sich von dieser Gegend nach einer oder der andern Seite entfernte, so war die Erleuchtung schwächer, im Orange schwächer als im Gelb, im Roth schwächer, als im Orange, und eben so im Grün nicht ganz so stark als in jenem Uebergange vom Gelb zum Grün, im blauen Lichte war die Erleuchtung immer schwächer, je mehr man sich von der Mitte des Farbenbildes entfernte, im Violett aber schwächer als in irgend einem der übrigen Farbenstrahlen. HERSCHEL bemerkt zugleich, daß die ungleiche Brechbarkeit der verschiedenfarbigen Strahlen sich dadurch zeigte, daß die zum deutlichen Sehen nöthige Stellung des Instruments bei jeder Farbe eine andere war, und daß man nur dann die glänzenden Punkte an einem Nagel oder andern Metall als mit der *einen* Farbe glänzend erblickte, die man auffallen liefs, wenn man die Beimischung anders gefärbter Strahlen sorgfältig vermied.

FRAUNHOFER hat diese Ungleichheit der Intensität noch genauer zu bestimmen gesucht, weil sie bei achromatischen Fernröhren zu berücksichtigen ist, wenn man die durch verschiedene Farbenstrahlen mit ungleicher Stärke bewirkte Färbung des Bildes aufheben will. Er brachte in der Ocularröhre eines Fernrohrs einen Metallspiegel an, der durch eine Lampenflamme erleuchtet wird, und dieses, in senkrechter Richtung gegen die Ocularröhre einfallende Licht, indem er es unter einer Neigung von 45 Graden auffängt, gegen das Ocular unter

¹ Vergl. No. 19.

² Herschels Unters. über die Natur der Sonnenstrahlen, übers. v. Harding. Celle 1801. S. 13.

eben dem Winkel zurückwirft. Dieser Spiegel, den man von der Flamme erleuchtet sieht, nimmt die Hälfte der Röhre ein, während durch die andre Hälfte des Gesichtsfeldes eine der Farben des prismatischen Sonnenbildes gesehen wird. Die erleuchtende Flamme kann verschiedene Entfernungen von jenem Spiegel erhalten, wodurch dann die Erleuchtung des Spiegels stärker oder schwächer wird, und man kann folglich eine solche Entfernung der Flamme wählen, wobei der Eindruck, den das Licht derselben durch das Ocular gesehen macht, eben so stark ist, als der Eindruck einer durch die andre Hälfte des Gesichtsfeldes gesehenen Farbe des prismatischen Sonnenbildes. Die Entfernung der Flamme giebt dann auf die bekannte Weise das Maß der Erleuchtung des Spiegels, da diese dem Quadrate der Entfernungen umgekehrt proportional ist; eben dadurch aber erhält man auch die Intensität des verglichenen Farbenstrahls. FRAUNHOFER bemerkt, daß es zwar etwas schwer ist, Licht von verschiedenen Farben mit einander zu vergleichen; aber einige Uebung erleichtert diese Vergleichung. Die Gleichheit der Intensität beider Lichter erkennt man daran, daß die nach der unveränderten Lage des Oculars scharf sichtbare Grenze des Spiegels dann am wenigsten deutlich ins Auge fällt, wenn die Intensität des Farbenstrahles mit dem Lichte, das der Spiegel zurückwirft, gleich ist. Die Versuche wurden mit einigen Abänderungen mehrmals wiederholt, unter andern auch so, daß das Lampenlicht durch ein matt geschliffenes Glas auf den Spiegel fiel¹, und durch die andere Hälfte des Fernrohrs eine von dem Farbenstrahle erleuchtete weiße Fläche gesehen wurde.

Fig. 19. Der hellste Ort des Farbenbildes liegt um $\frac{1}{4}$ oder $\frac{1}{3}$ der ganzen Länge desselben vom rothen Endpunkte entfernt, und die graphische Darstellung zeigt, wie die Verhältnisse der Intensität in allen Theilen des Farbenbildes gefunden wurde². Folgende Zahlen geben diese Verhältnisse der Intensitäten an:

bei B = 0,032.

bei C = 0,094.

bei D = 0,64.

1 Diese Einrichtung scheint noch besser, als die vorige, weil hier im eigentlichen Sinne die Erleuchtung verglichen wird, statt daß bei dem Beobachten der Flamme selbst, die claritas visa der Flamme zur Vergleichung dient.

2 G. LVI. 301.

größte = 1,00.

bei E = 0,48.

bei F = 0,17.

bei G = 0,031.

bei H = 0,006.

Also ist das gesammte Licht in den einzelnen Theilen des Farbenbildes etwa so vertheilt, dafs

im Raume BC = 0,021 des in DE vorhandenen

CD = 0,299 — — — — —

DE = 1,000 — — — — —

EF = 0,328 — — — — —

FG = 0,185 — — — — —

GH = 0,035 — — — — —

oder in Vergleichung gegen die ganze Summe des Lichtes

auf BC = 0,0113 kommt,

— CD = 0,1599

— DE = 0,5354

— EF = 0,1757

— FG = 0,0990

— GH = 0,0187

FRAUNHOFER bemerkt, dafs die Grenzen des ganzen Farbenbildes sich schwer angeben lassen, indem man bei recht lebhaftem, auf das Prisma fallendem Lichte, wenn man die hellern Theile des Farbenbildes verdeckt, um das Auge nicht durch sie zu blenden, noch weit über die gewöhnlich dem Auge sichtbaren Grenzen hinaus ein Roth an dem einen und ein Violett an dem andern Ende des Farbenbildes gewahr wird. Und dieses stimmt mit dem überein, was der jüngere HERSCHEL bei dem oben (No. 7) erzählten Versuche fand, dafs nämlich das durch jene rothen Gläser gesehene runde Sonnenbild so weit am Ende des prismatischen Farbenbildes liegt, dafs, wenn man den Ort desselben auf dem Papiere bezeichnet, wo das Farbenbild aufgefangen wird, dieser Ort zum Theil aufserhalb der Grenze desjenigen Bildes liegt, welches man, wenn das Auge zugleich auf die glänzenden Farben sieht, bemerkt. Dort also, wo ein rothes Glas das Auge vor der Blendung durch die glänzenden Farben sichert, welche von diesem Glase nicht durchgelassen werden, empfindet das Auge die Gegenwart dieser schwachen rothen Strahlen, die am äußersten Ende des Farbenbildes liegen.

15. FRAUNHOFER's genaue Untersuchung des Farbenbildes zeigte ihm noch eine andre bis dahin ganz unbekannte Eigenschaft desselben. Wenn man so strenge als es für die Berechnung achromatischer Fernröhre nöthig ist, die Brechung der einzelnen Farbenstrahlen in verschiedenen Glasarten zu bestimmen wünscht, so findet man dieses wegen der unbestimmten Grenze der einzelnen Farben nicht wenig schwierig. Es war daher eine erwünschte Entdeckung, als FRAUNHOFER in dem durch das Prisma gesehenen Lampenlichte zwischen dem Roth und Gelb einen hellen scharfbegrenzten Streifen bemerkte, der sich immer an derselben Stelle findet, und aus einfachem, nicht zerlegbarem Lichte zu bestehen scheint. Ein ähnlicher, jedoch schwächerer, Streifen läßt sich auch im Grün wahrnehmen. Eben solche, aber viel zahlreichere bestimmte dunklere und hellere Streifen sieht man nun auch im Sonnenlichte, und wenn man sie bei dem Gebrauche verschiedener Prismen ins Auge faßt, so hat man immer dieselben Punkte im Farbenbilde, und kann daher die verschiedene Brechung für verschiedene Glasarten in Beziehung auf sie genau angeben. FRAUNHOFER entdeckte diese Streifen im Farbenbilde, indem er vor dem Fernrohre eines Theodoliten ein Prisma von Flintglas aufstellte, auf welches durch eine schmale, etwa 15 Sec. Breite und 36 Min. hohe Oeffnung in dem 24 Fufs vom Prisma entfernten Fensterladen, das Sonnenlicht fiel. Der Winkel des Prisma's war ungefähr 60 Gr. und das Prisma stand so vor dem Objectiv des Theodolitfernrohrs, daß der Winkel des einfallenden Strahls dem des gebrochenen Strahls gleich war.

Bei dieser Stellung des Instruments zeigte sich in dem Farbenbilde und senkrecht auf die Längenausdehnung desselben eine Menge dunklerer Linien, deren einige fast ganz schwarz erschienen. Diese Linien zeigten sich bei allen verschieden brechenden Prismen und scheinen sich immer genau an demselben Orte, die eine im Blau, die andre im Roth u. s. w. zu befinden; sie waren zwar bei veränderter Oeffnung im Fensterladen oder bei veränderter Ausdehnung des Farbenbildes mehr oder minder leicht zu erkennen; aber ihr Verhältniß, ihre Lage gegen einander und gegen die Farben blieb immer ungeändert. Wenn man durch Drehung des Prisma's den Einfallswinkel änderte, so mußte die Stellung des Oculars verändert werden, um sie deutlich zu sehen, und eben so mußte diese Aenderung statt finden, wenn

man bald die im rothen, bald die im violetten Theile liegenden Fig. Linien deutlich sehen wollte. Die Figur¹ zeigt, so gut es in 19. einer kleinen Zeichnung möglich ist, diese Linien im Sonnenbilde. Ungefähr bei A ist das rothe, bei I das violette Ende des Farbenbildes, jedoch ohne ganz scharfe Grenze; bei sehr hellem Sonnenlichte sieht man, wenn von dem hellen Raume CG kein Licht ins Auge kommt, das Farbenbild viel länger. Die genauere Beschreibung der Linien theile ich hier nicht mit, sondern bemerke nur, daß nach FRAUNHOFER's sorgfältiger Untersuchung diese Linien nicht durch Beugung u. dgl. entstehen, sondern in der Natur des Lichtes selbst liegen. —

Wie diese dunkleren Linien zu erklären sind, ist wohl noch nicht mit Sicherheit zu bestimmen². Nach den sonst bekannten Erfahrungen schien es, daß die Sonnenstrahlen aus verschiedenen Farbenstrahlen beständen, die in stetiger, ununterbrochener Folge an Brechbarkeit verschieden wären; nach dieser neuen Erfahrung scheint es in Gemäßheit der Newton'schen Theorie, als ob die Brechbarkeit nicht nach stetiger Folge verschieden wäre, sondern hier und da sprungweise fortschreite, woher denn allerdings, wenn der auffallende Strahlenbündel sehr schmal ist, Lücken entstehen müßten³.

16. Die einzelnen Farbenstrahlen sind in ungleichem Grade erwärmend. HERSCHEL bemerkte dieses zuerst, indem er unter den stark verdunkelnden Gläsern im Telescop einige fand, die viel Wärme durchließen, während andre bei gleich viel durchgelassenem Lichte dieses nicht thaten; er stellte daher eine Reihe von Versuchen an, wo im verfinsterten Zimmer das Thermometer bald in dem einen, bald in dem andern Farbenstrahle des durch einen engen Spalt einfallenden und im Prisma (dessen Kanten der Längsrichtung des Spaltes parallel waren) gebrochenen Sonnenstrahlen aufgestellt wurden. Er fand, indem er unter drei Thermometern das eine aufserhalb der Farbenstrahlen, ein

1 Entlehnt aus FRAUNHOFER's Originalabhandlg. und SCHUMACHER's astron. Abh. II. wo sie in größerm Maßstabe gezeichnet ist.

2 Eine sehr dunkel ausgedrückte Meinung von v. Grotthufs findet sich bei Gilb. LXI. 60. Fraunhofer selbst bringt sie mit der Theorie der Interferenzen und der Lichtwellen in Verbindung.

3 Künstliches Licht giebt im prismatischen Bilde oft noch viel merklichere Unterbrechungen, wie unter andern Talbot im Edinb. Journ. of Science. IV. IX. zeigt.

andres oder auch beide andere in einem bestimmten Farbenstrahle aufstellte, daß im Mittel das Thermometer in 16 Min. durch die Einwirkung des rothen Strahles um $6\frac{7}{8}$ Gr. in den grünen Strahlen um $3\frac{1}{4}$ Gr. in den violetten um 2 Gr. F. stieg. Aber obgleich im Roth die Erwärmung größer als in den übrigen Farbenstrahlen war, so lag doch das Maximum der Erwärmung nicht im Roth, sondern darüber hinaus, wo schon keine Farbe mehr kenntlich war. Liefs man nämlich auf das kleine Tischchen, worauf die Thermometer sich befanden, nach und nach die einzelnen Farbenstrahlen fallen, und beobachtete das in der Brechungsebene liegende Thermometer nun auch dann noch, wenn der rothe Farbenstrahl das Tischchen nicht mehr erreichte, also wenn das Thermometer da stand, wo Strahlen noch minder brechbar als die rothen hin gelangen müßten, wofern es solche gäbe, so stieg das Thermometer in 10 Min. $6\frac{1}{2}$ Gr., wenn es $\frac{1}{2}$ Zoll von der Grenze des sichtbaren Roth abstand, $5\frac{1}{4}$ Gr. wenn es 1 Zoll, $3\frac{1}{8}$ Gr. wenn es $1\frac{1}{2}$ Zoll, von dieser Grenze entfernt war. HERSCHEL schloß hieraus, daß das Maximum der Erwärmung aufserhalb des Roth liege, da wo Strahlen, weniger brechbar, als die rothen hinfallen, oder wenn wir auch nach FRAUNHOFER und dem jüngern HERSCHEL annehmen, daß ein recht scharfsehendes, im Dunkel ungeblendetes Auge hier vielleicht noch einen matten tiefrothen Lichtschimmer sieht, doch gewiß da, wo nur die äußerste, höchst schwach erleuchtenden rothen Strahlen hin gelangen. HERSCHEL versicherte sich noch durch andre Versuche, daß wirklich solche aufserhalb des Farbenbildes auffallende Wärmestrahlen vorhanden sind, indem er ein Thermometer so aufstellte, daß es durch Zurückwerfung solcher minder brechbarer Strahlen, die nämlich von einem jenseits des Roth gehörig aufgestellten Spiegel reflectirt werden mußten, getroffen wurde, und eine Erwärmung beobachtete. Er bestätigte dieses Resultat, indem er einen zur Hälfte bedeckten Hohlspiegel so stellte, daß der unbedeckte Theil ganz aufserhalb der Grenze des Farbenbildes lag und also nur von jenen dunkeln Strahlen getroffen werden konnte; dennoch stieg ein im Brennpuncte gehaltenes Thermometer in 1 Min. um 19 Grade¹.

Spätere Beobachter haben diese bis über das Roth hinaus-

¹ Herschel's Unters. über die Sonnenstrahlen, übers. von Harding und in Gilb. Ann. VII. 137. X. 71.

reichenden Wärmestrahlen nicht finden können, und LESLIE spricht mit einer eben so unnöthigen als ungebührlichen Heftigkeit dagegen¹. Er glaubt die sämtlichen Versuche wären fehlerhaft, und bei gehöriger Sorgfalt habe er selbst gar keine Erwärmung aufserhalb des Farbenbildes gefunden.

Diese Einwürfe zu prüfen, stellte ENGLEFIELD² eine Reihe von Versuchen an. Er liess auf eine Glaslinse von 4 Zoll Oeffnung und 22 Zoll Brennweite, die durch einen Pappenschirm gegen die übrigen Strahlen geschützt wurde, nur diejenigen Farbenstrahlen, die durch eine $\frac{1}{2}$ Zoll weite, 3 Zoll lange Oeffnung in jenem Schirme durchgelassen wurden, auffallen, deren Wirksamkeit untersucht werden sollte. Er stellte dann ein Thermometer im Focus auf, und liess von den durch das Prisma zerstreuten Strahlen bald den einen, bald den andern Theil auf die Oeffnung im Schirm und so auf die Linse fallen. Der blaue Strahl brachte in 3 Min. das Thermometer nur 1 Gr. höher, der grüne in eben der Zeit 4 Gr., der gelbe 6°, der rothe in 2 $\frac{1}{2}$ Min. 15 $\frac{1}{2}$ bis 16 Gr., und aufserhalb des Farbenbildes nahe an der Grenze des Roth stieg das Thermometer in 2 $\frac{1}{2}$ Min. 18 Gr. F. Andere Versuche fielen im Wesentlichen eben so, nämlich beweisend für Erwärmung da, wo kein Roth des Farbenbildes mehr sichtbar war, aus; indess zeigte sich, selbst wenn das ganze Farbenbild auf den Schirm fiel, und die Oeffnung $\frac{1}{8}$ Zoll von der sichtbaren Grenze des Roth entfernt lag, im Brennpuncte noch ein schwachrother Schimmer, also gesammelt aus Strahlen, die das Auge auf dem Schirme nicht bemerkte.

Die Wiederholung der Versuche über die ungleiche Erwärmung durch verschiedenfarbige Strahlen, welche wir BERARD verdanken³, hat vor den frühern den Vorzug, dass sie mit einem Heliostat angestellt sind, einem Instrumente, welches bei dem Fortrückten der Sonne das Sonnenbild immer in demselben Puncte erhält. BERARD fand die Erwärmung vom Violett bis zur äußersten Grenze des Roth zunehmend; das Maximum der Wärme also zwar nicht aufser dem Farbenbilde, aber doch an der äußersten Grenze desselben, und von da an aufserhalb des sichtbaren Farbenbildes schnell abnehmend. RUHLAND

1 G. X. 90.

2 Ebend. XII. 399.

3 Ebend. XLVI. 382.

schließt aus eigenen Versuchen, daß der Ort der größten Wärme bei Prismen aus verschiedenen Materien verschieden sey; bei einigen Glasprismen und bei einem Prisma aus Borax lag er über das Roth hinaus, bei andern im Roth, und bei Prismen, die mit flüssigen Körpern gefüllt waren, bei einigen im Gelb¹.

17. Auch die chemischen Wirkungen der verschiedenen Farbenstrahlen sind ungleich. SCHEELE² hatte schon bemerkt, daß das Hornsilber (Chlorsilber, salzsaures Silber), welches im Sonnenlichte schwarz wird, diese Veränderung eher und stärker leidet, wenn man es dem violetten Lichtstrahle, als wenn man es den übrigen Lichtstrahlen aussetzt; der violette Strahl, so lichtschwach er ist, und so sehr er in Rücksicht auf die erwärmende Kraft hinter den übrigen zurücksteht, reducirt also das Silberoxyd am schnellsten.

RITTER³ hat die Erscheinungen noch genauer untersucht und gefunden, daß die stärkste Reduction aufser dem Violett, wo das sichtbare Farbenbild schon aufgehört hat, statt findet, daß ihre Stärke von da an durch das Violett und Blau sehr abnimmt, und nahe hinter dem Grün ganz aufhört, im Orange und Roth schien eine Oxydation einzutreten. FISCHER findet⁴ die stärkere Schwärzung des Hornsilbers im blauen und violetten Strahle und auch eine deutliche Färbung aufserhalb des Farbenbildes jenseits des violetten Strahles völlig bestätigt; der rothe Strahl brachte selbst in 2 Stunden keine Färbung hervor, obgleich diese vom blauen Strahle in wenig Minuten bewirkt wurde. Eben diesen Unterschied fand Fischer, wenn man unter blauen und rothen Gläsern das salzsaure Silber der Einwirkung des Lichtes aussetzte, nur unter jenem zeigte sich die Schwärzung. Daß im rothen Strahle eine entgegengesetzte chemische Wirkung eintrete, hält FISCHER für nicht erwiesen.

WOLLASTON'S etwas anders angestellten Versuche verdienen gleichfalls erwähnt zu werden⁵. Guajacharz, in Alkohol aufge-

1 Ruhland über die polarische Wirkung des gefärbten heterogen Lichts. S. 50.

2 G. VII. 149.

3 Ebend. XII. 408.

4 Fischer über die Wirkung des Lichts auf das Hornsilber. Nürnberg, 1814. S. 56.

5 G. XXXIX. 294. Ruhland über polarische Wirkung des Lichts. S. 24.

löst, giebt eine Tinctur, die unter Einwirkung des Lichtes grün wird. Da die Farben des durch ein Prisma zerstreuten Sonnenlichtes keine Wirkung zeigten, so concentrirte WOLLASTON sie, indem er eine Glaslinse von 7 Zoll Durchmesser so bedeckte, daß nur ein sehr schmaler Rand die Lichtstrahlen empfang. Dieser Ring vereinigt bekanntlich die rothen Lichtstrahlen in einem andern Brennpuncte, als die violetten. Fing man das Bild näher beim Glase, als wo der Brennpunct lag, auf, so war es wie allemal, innen violett, außen roth gefärbt; bei $24\frac{1}{2}$ Zoll Entfernung war der Brennpunct am glänzendsten; in größerer Entfernung war das Farbenbild wieder ringförmig und am äußern Rande violett, am innern roth. Setzte man diesen Strahlen das salzsaure Silber aus, so entstand in kleinern Entfernungen als $22\frac{1}{4}$ Zoll ein geschwärzter Ring; in $22\frac{1}{4}$ Zoll ein Fleck, der bei 23 Zoll Entfernung am kleinsten war; in $24\frac{1}{4}$ Zoll Entfernung würde die geschwärzte Stelle wieder ringförmig. Auch bei dem mit Guajactinctur bestrichenen Papier zeigte sich das Grün am schnellsten und schönsten in 23 Zoll Entfernung; in kleinern Entfernungen war die gefärbte Stelle größer und blässer, in $22\frac{1}{2}$ Zoll Entfernung entstand ein grüner Ring mit farbenlosem Mittelpuncte, in $24\frac{1}{4}$ Zoll Entfernung, (also in dem am meisten erleuchteten Brennpuncte) erfolgte in der den frühern Beobachtungen immer gewidmeten Zeit von 1 Min. fast gar keine Wirkung. Nahm man Guajacpapier, das schon an der Sonne grün geworden war, und brachte dieses in $25\frac{1}{4}$ Zoll Entfernung hinter der Linse an, so ging die Farbe in das Blafsgelb zurück, welches sie vor der Einwirkung des Lichtes hat; indefs bemerkt WOLLASTON, daß diese Wirkung, die allerdings eine entgegengesetzte Beschaffenheit derjenigen Strahlen anzuzeigen scheint, die in der Gegend des Roth liegen, auch durch bloße Hitze hervorgebracht wurde. Die wirksamsten Strahlen zur Färbung des Guajacpapiers waren also die am stärksten gebrochenen, die sich schon in 23 Zoll Entfernung in einem Focus sammelten, statt daß die glänzendsten ihren Focus erst in $24\frac{1}{4}$ Zoll Entfernung hatten.

YOUNG liefs die zwischen Glasplatten sich zeigenden Farbenringe (nach NEWTON's Ausdruck, die durch Anwandlungen entstanden) ihr Bild auf ein Papier werfen, das mit einer Silberauflösung¹

¹ G. XXXIX. 238.
IV. Bd.

bestrichen war, und erhielt geschwärzte Ringe, die mit den violetten Ringen zusammen zu treffen schienen.

BERARD¹, der sich durch mehrere Versuche von dieser ungleichen chemischen Wirksamkeit der Farbenstrahlen überzeuge, stellte unter andern Versuchen auch den an, daß er die Farben vom Grün bis zum Violett, so wie sie durch das Prisma hervorgebracht waren, mittelst *einer* Linse sammelte und eine *zweite* Linse zum Sammeln der gelben, orangefarbenen, rothen und über das Roth hinaus etwa noch vorhandenen Strahlen anwandte. Im Brennpuncte der ersten Linse schwärzte sich das salzsaure Silber in 10 Minuten sehr merklich, im Brennpuncte der zweiten, wo Licht und Hitze viel lebhafter waren, konnte selbst in zwei Stunden noch kein Erfolg bemerkt werden.

Nach SEEBECK² erfolgt unter einer blauen Glocke die Zersetzung einer Mischung aus Chlorgas und Wasserstoffgas in sehr kurzer Zeit; unter einer gelbrothen Glocke erfolgt sie selbst in längerer Zeit nur höchst unvollkommen. Der Bononische Leuchtstein³ wird nach SEEBECK's Beobachtungen am besten im violetten Strahle und selbst noch darüber hinaus leuchtend, im Blau nahm sein Glanz wenig ab, in den folgenden Strahlen trat das Leuchten unvollkommener ein. Hinter blauem Glase wurde er sogleich leuchtend, hinter gelbrothem verlor der schon leuchtende bononische Phosphor sein Licht. RUHLAND⁴, dessen zahlreiche Versuche ich sogleich umständlicher erwähnen will, fand diese Beobachtungen über den bononischen Phosphor fast vollkommen bestätigt, doch konnte er zwischen dem schwachen Leuchten im gelben und rothen Farbenstrahle keinen Unterschied wahrnehmen. RUHLAND tadelt an den frühern Versuchen, daß man auf die ungleiche Intensität des verschiedenfarbigen Lichtes nicht genug Rücksicht genommen habe, welchen Fehler er vermied, indem er mit LESLIE's Photometer die Grade der Erleuchtung bestimmte. Er bediente sich eines Apparats, wo in fünf von einander getrennten Abtheilungen das Licht durch Gläser von 6 Zoll Durchmesser einfiel, die violett, blau, grün,

1 G. XLVI. 385.

2 Schweigg. II. 265. Ruhland. S. 11.

3 v. Göthe Farbenlehre. II. 705.

4 Ruhland über die polarische Wirkung des gefärbten heterog. Lichts. S. 26.

gelb, hochroth waren; das Gelbe liefs am meisten Licht durch, das Grüne etwas weniger als die drei übrigen, die sehr genau gleich waren. Seine zahlreichen Versuche geben im Allgemeinen das Resultat, dafs man die Wirkung der am meisten brechbaren Strahlen weder eine oxydirende noch eine desoxydirende nennen könne, sondern dafs die Wirkung hier, wie beim unzerlegten Lichte, nach Verschiedenheit der dem Lichte ausgesetzten Körper verschieden ist. Aber diejenige Wirkung, welche das unzerlegte Licht auf verschiedene Körper ausübt, die doch nur dadurch scheint hervorgebracht zu werden, dafs es von den Körpern in ihre Substanz aufgenommen wird, tritt bei den stärker gebrochenen Strahlen, weil sie am meisten angezogen werden, im stärkern Grade ein. Die minder gebrochenen zeigen nicht eigentlich die entgegengesetzte Wirkung, sondern die Wirkung ist zusammengesetzt aus derjenigen, welche das in mehr oder minderer Menge absorbirte Licht hervorbringt (und diese Menge ist bei den stärker brechbaren Strahlen gröfser), und aus der, welche Folge der Cohäsions-Erhöhung ist, die in dem Grade gröfser ist, als ein Körper gröfsere Schwierigkeit hat, das ihn treffende Licht seiner Elasticität zu berauben. Die von dem letzten Umstande herrührenden Erscheinungen, die nämlich von einer gesteigerten Cohäsion abhängen, kommen mehr den nicht so stark brechbaren Strahlen zu; deshalb (glaubt RÜHLAND) färben auch diese minder brechbaren Strahlen noch in einigem Grade das salzsaure Silber, entfärben aber zum Theil das schon geschwärzte, weil sie die Cohäsion indirect so erhöhen, dafs ein Theil des absorbirten Lichtes wieder ausgetrieben wird.

Von RÜHLAND'S Versuchen hebe ich nur einige der auffallendsten aus. Die Aloë-Tinctur gehört zu den vorzüglichsten Reagentien, um die Einwirkung des Lichts zu zeigen. Frisch bereitet, hat sie eine bleiche, gelbrothe Farbe, setzt man sie aber auch nur kurze Zeit dem Lichte hinter violetten und blauen Gläsern aus, so wird sie dunkel blutroth, während in den minder brechbaren Strahlen auch nicht die geringste Farbenänderung eintritt. In jenen Strahlen bemerkt man auch Absorption des Sauerstoffgas, die in diesen ganz fehlt. — Roth's Quecksilberoxyd hielt sich in den minder brechbaren Strahlen ganze Monate unverändert, in den stärker brechbaren ward es bei hinreichend starkem Lichte bald so reducirt, dafs sich laufendes Quecksilber ansammelte. — Nufs-Oel, Mohn-Oel, Oliven-Oel

bleichten in den stärker brechbaren Farben (hinter violetten und blauen Gläsern) und wurden beinahe wasserhell, dabei absorbirten sie Sauerstoffgas. In den minder brechbaren Strahlen verhielten sich diese Oele wie im Dunkeln.

Auf die Pflanzen zeigt sich eine auf ähnliche Weise ungleiche Einwirkung. In den brechbarern Strahlen kehren die Blätter sich gegen das Licht, wie wir es sonst an Pflanzen am Fenster gewohnt sind; in den minder brechbaren Strahlen (hinter gelbem und rothem Glase) kehrten sie sich vom Lichte ab und ihre Farbe ward bleicher. — Brachte man zarte Pflanzen der *Mimosa pudica* während ihres nächtlichen Pflanzenschlafes in völliges Dunkel, und dann am Morgen, wenn die farbigen Gläser schon völlig von der Sonne beschienen wurden, die eine Pflanze hinter blaue oder violette, die andere hinter gelbe und rothe Gläser, so öffneten die Blätter sich hinter den rothen schneller als hinter den blauen, die letztern aber blieben so lange ausgebreitet, als sie vom Lichte beschienen wurden und schlossen sich des Nachts vollkommen wieder, statt daß die im rothen Lichte stehenden sich nach einigen Tagen rückwärts bogen, so daß die Oberflächen der Blätter nach aufsen zu stehen kamen, sich Nachts unvollkommen schlossen und ihre Reizbarkeit zu verlieren schienen.

Die Frage, warum der violette Strahl sich hier am wirksamsten zeige, beantworten die Vertheidiger der Emissionstheorie durch die Bemerkung, daß schon die stärkere Brechbarkeit auf eine nähere Verwandtschaft des violetten Lichts mit den Körpern hindeute; die Vertheidiger der Undulationstheorie dagegen glauben, die breitem Wellen, die sich uns im violetten Strahle kenntlich machten, wirkten mit mehr Gewalt auf die Körper¹.

18. Ob der violette Lichtstrahl dem Stahle die Eigenschaften des Magnetes ertheile, scheint immer noch nicht ganz entschieden. MORICCHI glaubte diese Magnetisirung zu Stande zu bringen, indem er Stahlnadeln bloß dem violetten Strahl aussetzte: er sagt aber nicht deutlich, wie er den Pol, welcher Nordpol werden soll, bestimme, indefs scheint das Ende, welches dem magnetischen Norden am nächsten lag, Nordpol geworden zu seyn. BARLOCCI glaubte den Erfolg schneller und

1 Nobile sul magnetismo. Modona 1824. p. 178.

bestimmter hervorgehen zu sehen, wenn er das concentrirte Bild von der Mitte nach dem Nordende der Nadel, und eben so nachher von der Mitte nach dem Südende fortbewegte, und so ein dem Bestreichen ähnliches Verfahren anwandte. Diese¹ nicht einmal genau erzählten und zu sehr vielen Zweifeln Gelegenheit gebenden Versuche wurden von Andern ohne Erfolg wiederholt, und CONFIGLIACHI versichert unbedenklich, daß sich die Nadeln, nachdem sie dem violetten Strahl ausgesetzt waren, nicht magnetisch zeigen, und daß die Versuche von MORICINI und BARLOCCI nicht mit genug Vorsicht angestellt sind².

Erst ganz neuerlich³ scheinen die Umstände, welche das Gelingen des Versuchs bedingen, von Lady SOMMERVILLE aufgefunden zu seyn, nämlich daß man nur diejenige Endspitze der Nadel, die Nordpol werden soll, dem violetten Strahle aussetzt, während der übrige Theil der Nadel bedeckt ist. Vermuthlich muß man noch hinzusetzen, daß eben dieser Nordpol einigermassen nach der Richtung hin gekehrt seyn muß, wohin die Neigungsnadel ihren Nordpol kehrt, oder wenigstens die Lage der Nadel nicht zu weit von dieser Richtung entfernt seyn muß.

Nach L. GMELIN aber, welcher den Versuch durch MORICINI selbst anstellen sah, wurde die zu magnetisirende Nadel nicht genau im magnetischen Meridiane, mit etwas westlicher Abweichung, horizontal gehalten, der blaue und violette Strahl des Spectrums vermittelst einer Linse vereinigt, und wiederholt von der Mitte aus nach dem nordwestlich gerichteten Ende geführt, wodurch nach einer kleinen halben Stunde die Nadel so magnetisch wurde, daß sie Eisenfeilicht anzog. Ein heiterer Himmel wurde als nothwendige Bedingung angegeben, die Tagszeit des Versuchs war etwa 11 Uhr⁴.

Auch BAUMGARTNER versichert⁵, schon in wenigen Minuten einen Eisendraht im violetten Theile des Farbenbildes hinreichend magnetisch gemacht zu haben, um seine abstossende Wirkung auf den Pol einer astatischen Nadel deutlich zu bemer-

1 G. XLIII. 212.

2 Ebend. XLVI. 367.

3 Poggendorf's Ann. VI. 493.

4 Mündliche Mittheilung.

5 Baumgartner's Zeitschrift für Phys. und Math. I. 270.

ken. Lady SOMMERVILLE hat die Wirkung sogar dadurch hervorgebracht, daß sie Nadeln zur Hälfte in grüne oder blaue Bänder wickelte, die andere Hälfte mit Papier bedeckte: andere Nadeln, in rothes oder gelbes Band gewickelt, blieben unmagnetisch, BAUMGARTNER glaubt, eine ungleiche Einwirkung auch des weißen Lichtes auf beide Enden der Nadel sey hinreichend, um Magnetismus zu erregen. Völlig unmagnetische Stahlnadeln wurden am einen Ende polirt dem Lichte ausgesetzt und der polirte Theil ward Nordpol. Ein Versuch, wo die Nadel nach dem Poliren noch gänzlich unmagnetisch gefunden wurde, und nachdem die verdichteten Sonnenstrahlen einer kleinen Linse auf den polirten Theil gewirkt hatten, sich stark magnetisch zeigte, scheint vorzüglich geeignet, diese Meinung zu bestätigen. — Indefs gestehe ich, daß ich, bei den mannigfaltigen hier möglichen Täuschungen, die Untersuchung noch nicht als beendigt ansehe.

Farben, welche aus der Mischung der prismatischen Farben hervorgehen.

19. Schon im Vorigen habe ich erwähnt, daß man aus den sämtlichen Farbenstrahlen wieder Weiß erhält, wenn man sie entweder alle, durch eine Linse gehörig gesammelt auf denselben Punct eines weißen Körpers auffallen läßt, oder wenn sie durch ein zweites Prisma wieder alle in eine parallele Richtung gebracht werden; aber auch einige andere Mittel, um Weiß durch Mischung von Farbenstrahlen hervorzubringen, verdienen bemerkt zu werden. NEWTON behauptet zwar, man könne nicht zwei Farben aus dem prismatischen Bilde so heraus nehmen, daß sie vereinigt ein reines Weiß geben, indess erhält man dennoch eine, wenigstens für das Auge nicht vom Weiß zu unterscheidende Farbe, wenn man zwei Farbenbilder so auf einander bringt, daß gelb und violett, orange und blau, roth und grün zusammenfallen. Nach v. GROTHUSS¹ muß man das Roth mit dem Bläulichgrün zusammenfallen lassen, indem man zwei Farbenbilder so, daß bei beiden violett den obern Theil ausmacht, hervorbringt; trifft dann das Violett des etwas niedriger liegenden Bildes mit dem Gelb des höheren zusammen,

¹ Schweigger's Journal, III. 158.

so fällt zugleich sehr nahe das Blau auf Orange, das Grün auf Roth, und bringt so ein in der Mitte weißes, am einen Ende in Blau und Violett, am andern Ende in Orange und Roth übergehendes Bild hervor. v. GROTHUUS schreibt vor, man solle die beiden Spectra etwa in 12 Fuß Entfernung im dunkeln Zimmer auf eine weiße Wand fallen lassen, die mittleren sich vereinigenden Strahlen aber auf einer näher gehaltenen schwarzen Tafel auffangen, in welcher sich nur eine kleine runde Oeffnung befindet. Wenn man die Einrichtung so macht, so giebt diese runde Oeffnung ein doppeltes Bild an der Wand, weil die vom einen Prisma herkommenden Strahlen eine andere Richtung haben, als die vom andern Prisma herkommenden. Liegt die Oeffnung in der schwarzen Tafel da, wo Gelb vom einen und Violett vom andern Prisma zusammenfallen, so sind jene Bilder an der Wand, das eine gelb, das andere violett; aber wenn man nahe hinter der schwarzen Tafel sie auffängt, so daß sie über einander greifen, so stellen sie Weiß dar. Dieses Weiß durchs Prisma angesehen, zeigt sich aber nur in Gelb und Violett, oder allgemein in die zwei Farben, woraus es entstanden ist, zerlegbar.

Wenn man, statt alle Strahlen zum Weiß zu vereinigen, oder statt diejenigen zwei Farbenstrahlen, die ein sehr nahe reines Weiß geben, zu vereinigen, andere Farbenstrahlen vereinigt, so geben sie Mittelfarben, die zum Theil mit denen im prismatischen Farbenbilde übereinstimmen, sich aber immer dadurch von diesen unterscheiden, daß jene sich durchs Prisma in die Farbenstrahlen, woraus sie zusammengesetzt waren, zerlegen lassen, die aus dem Sonnenlichte unmittelbar vermittelt der Brechung hervorgehenden sich unzerlegbar zeigen. Es ist dieses auch nicht so auffallend, als einige Naturforscher es darstellen; denn offenbar besteht das Sonnenlicht aus einer Mannigfaltigkeit von Strahlen, deren Brechbarkeit nach dem Gesetze der Stetigkeit, in unmerklichen Abstufungen, verschieden ist¹, und unser Auge hat hier von denen, deren Brechbarkeit zwischen Gelb und Blau liegt, die Empfindung des Grün, eben so, wie bei einer Mischung der gelben und blauen Strahlen. Die

1 Bloß die von FRAUNHOFER beobachteten dunkeln Linien scheinen eine Unterbrechung und Abweichung vom Gesetze der Stetigkeit anzudeuten, vgl. No. 15.

Mischung nämlich, die aus der Erleuchtung durch zwei Farben des prismatischen Sonnenbildes entsteht, giebt die zwischen ihnen liegende Farbe so daß, wenn man das Farbenbild auf eine Glaslinse fallen läßt, aber durch einen Schirm die übrigen Strahlen abhält und nur orange und gelblich grün auffängt, ein gelbes Bild, aus Gelb und Blau dagegen Grün hervorgeht u. s. w. Um dieses deutlich zu sehen, muß man die Linse in einem Abstände, der ihrer doppelten Brennweite gleich ist, vom Prisma entfernt aufstellen, und eben so entfernt hinter der Linse eine weiße Tafel anbringen. Bedeckt man die so stehende Linse mit einem Deckel, in welchem zwei offene schmale Streifen, den Kanten des Prisma's parallel, sind, und läßt nun auf den einen Grün, auf den andern Orange fallen, damit diese Strahlen allein die Linse erreichen, so sieht man, wenn man die weiße Tafel näher hinter der Linse hält, beide Farbenstreifen von einander getrennt, in der oben erwähnten Entfernung aber beide zusammenfallend, und aus Orange und Grün geht ein blasses Gelb hervor, indem die übrigen Strahlen sich zu Weiß vereinigen, das im Orange und Grün übrige Gelb aber die einzige Färbung hervorbringt. Diese Versuche geben zugleich den Grund an, warum es möglich war, daß WÜNSCH¹ die drei Farben Roth, Grün und Violett als die einfachen ansehen konnte, aus deren Mischung Gelb und Orange, wenn man Roth und Grün nimmt, Blau, wenn man Grün und Violett nimmt, hervorgehen.

NEWTON hat über diese Mischungen² viele Versuche angestellt, und giebt eine Regel, wie man die aus irgend einer gegebenen Mischung hervorgehende Farbe finden könne³, die sich so darstellen läßt⁴. Wenn man sich jede Farbe aus dem Theile des Farbenbildes, wo sie am reinsten ist, genommen denkt, so muß man

60 $\frac{3}{4}$ an Roth
 34 $\frac{1}{8}$ an Orange
 54 $\frac{2}{3}$ an Gelb
 60 $\frac{3}{4}$ an Grün

1 Versuche und Beobachtungen über die Farben des Lichts, von Wünsch. Leipz. 1792. G. XXXIV. 10. Einen interessanten Auszug mit Bemerkungen über den Inhalt findet man in Annales de Chimie LXIV. 135.

2 Optice Lib. I. Pars. 2. propos. 5. auch Exper. 13.

3 Lib. I. Pars. 2. propos. 6.

4 Biot traité de phys. III. 450.

54 $\frac{3}{4}$ an Blau
 34 $\frac{1}{6}$ an Indigblau
 60 $\frac{3}{4}$ an Violett

nehmen, um in richtiger Proportion aus dieser Mischung weiß zu erhalten. Oder noch genauer, man theile den Kreisumfang so, daß

60° 45' 34" dem Roth,
 34 10 38 dem Orange,
 54 41 1 dem Gelb,
 60 45 34 dem Grün,
 54 41 1 dem Blau,
 34 10 38 dem Indigblau,
 60 45 34 dem Violett

zugeheilt werden, so hat man das verhältnißmäßige Maß der Einwirkung jeder Farbe, welches zur Hervorbringung des Weiß erforderlich ist. Denkt man sich alle diese Bogen als mit Gewichten ihrer ganzen Länge nach belastet: so fällt nach der Lehre vom Schwerpunkte, des Bogens = a Schwerpunct in die Entfernung = $\frac{\text{Sin. } \frac{1}{2} a}{\frac{1}{2} a}$ vom Centro, und wenn man den

Schwerpunct jedes der eben erwähnten Bogen als mit einem Gewichte der Größe des Bogens proportional, belastet, ansieht, so fällt der gemeinschaftliche Schwerpunct aller Bogen in den Mittelpunct. Man kann also sagen: wenn man jene Schwerpuncte des rothen Bogens, des orangefarbenen Bogens u. s. w. genau mit den Gewichten belastet, die den eben angeführten Zahlen proportional sind, so zeigt die Lage des Schwerpunctes im Mittelpuncte ein völliges Ausgleichen aller Farben, eine Vereinigung in Weiß, an; legt man dagegen mehr Roth zu, während die übrigen Farben wie vorhin bleiben, so rückt der Schwerpunct auf die Seite des Roth, und offenbar wird auch die Mischung sich nur als röthlich zeigen, und zwar um so mehr, je entfernter vom Mittelpuncte sich der Schwerpunct aller Farben findet.

Man bestimmt die Lage des Schwerpunctes am besten durch zwei Coordinaten, deren Lage an sich willkürlich ist, deren eine wir aber am bequemsten auf dem Halbmesser nehmen, der das Roth vom Violett trennt; die andre wird gegen diese senkrecht genommen. Bedeutet R den Radius, so liegt des rothen Bogens = 60° 45' 34" = 1,0604. R Schwerpunct in der Ent-

fernung $= \frac{0,5057}{0,5302} = 0,9538$, R vom Mittelpunkte und hat also

die Coordinaten $= 0,9538$. R. Cos. $30^\circ 22' 47'' = 0,8228$. R. und $= 0,9538$. R. Sin. $30^\circ 22' 47'' = 0,4823$. R. Wenn also an Roth die Quantität $= r$ genommen wird, so sind (da $R=1$ gesetzt werden kann) die Momente dieses Roth in statischem Sinne $= 0,8228$. r

und $= 0,4823$. r. und hieraus läßt sich nun leicht verstehen, daß wenn man an Roth die Quant. $= r$,

an Orange — $= o$,

an Gelb — $= g$,

an Grün — $= G$,

an Blau — $= b$,

an Indigblau — $= i$,

an Violett — $= v$,

nimmt, man die Formeln für beide Coordinaten des Schwerpunkts

$$= \frac{(r+v)0,8228 + (o+i)0,2074 - (g+b)0,5140 - G \cdot 0,9538}{r+o+g+G+b+i+v}$$

und

$$= \frac{(r-v)0,4823 + (o-i)0,9632 + (g-b)0,8137}{r+o+g+G+b+i+v}, \text{ erhält.}$$

Es ist nämlich

$$0,8228 = \frac{\text{Sin. } 30^\circ 22' 47''}{\text{arc. } 30^\circ 22' 47''} \cdot \text{Cos. } 30^\circ 22' 47''$$

$$0,4823 = \frac{\text{Sin. } 30^\circ 22' 47''}{\text{arc. } 30^\circ 22' 47''} \cdot \text{Sin. } 30^\circ 22' 47''$$

$$0,2074 = \frac{\text{Sin. } 17^\circ 5' 19''}{\text{arc. } 17^\circ 5' 19''} \cdot \text{Cos. } 77^\circ 50' 53''$$

$$0,9632 = \frac{\text{Sin. } 17^\circ 5' 19''}{\text{arc. } 17^\circ 5' 19''} \cdot \text{Sin. } 77^\circ 50' 53''$$

und so ferner.

Hiernach würde man also, wenn man gleiche Antheile roth und gelb $r=g$ nimmt, und alle andere Farben wegläßt oder $= 0$ setzt, die beiden Ordinaten

$$= \frac{0,8228 - 0,5140}{2} = 0,1544$$

$$\text{und} = \frac{0,4823 + 0,8137}{2} = 0,6480$$

erhalten. Diese treffen, wenn man

Tang $\varphi = \frac{0,6480}{0,1544} = \text{Tang } 76^\circ 36'$ berechnet, beinahe mit der Mitte des Orange zusammen, welche in $77^\circ 51'$ liegt. Die Entfernung des Schwerpunctes vom Mittelpuncte ist $= r (0,1544^2 + 0,6480^2) = 0,67$, und die Farbe nähert sich also dem Weiß, oder sie ist so, als ob ungefähr $\frac{2}{3}$ reines Orange mit $\frac{1}{3}$ Weiß gemischt wäre¹.

Diese Regel, um die aus Mischung mehrerer Farben hervorgehende Farbe zu finden, zeigt sich der Erfahrung sehr gemäß und BROT hat z. B. die Farben der durch Anwendung hervorgehenden Farbenringe so betrachtet; er sowohl als NEWTON geben danach die Farben so wie sie im ersten, zweiten und allen folgenden Farbenringen sich zeigen, an² und die Erfahrung entspricht diesen Bestimmungen.

20. Selbst die Mischung aus Färbestoffen läßt sich einigermassen nach ähnlichen Regeln betrachten; indefs darf man nie vergessen, daß unsere Färbemittel nie so reine Farben darstellen, als die Sonnenstrahlen. Mischen wir z. B. pulverisirte Färbestoffe, so würde, wenn auch die erleuchtete Seite jedes Körperchens seine Farbe ganz rein darstellte, doch die Schattenseite ein Dunkel oder Schwarz mit in die Mischung bringen. Ueberziehen wir eine völlig ebene Fläche mit einer Färbung, so wirft ja selbst, wenn diese Färbung aus dem reinsten Weiß bestünde, die Fläche nicht alles Licht zurück, und zeigt daher, je nachdem mehr oder minder Licht verloren geht, eine Hineigung zum Grau. Wir dürfen uns daher nicht wundern, wenn insbesondere diejenigen Mischungen, welche Weiß geben sollten, nur Grau geben. Man giebt die Vorschrift, um aus einer Mischung aller Farben das Weiß hervorgehen zu sehen, solle man einen Kreis so eintheilen, daß $60\frac{3}{4}$ Grade mit Roth, $34\frac{1}{4}$ mit Orange, $54\frac{2}{3}$ mit Gelb, $60\frac{3}{4}$ mit Grün, $54\frac{2}{3}$ mit lichtem Blau, $34\frac{1}{4}$ mit Indigblau, $60\frac{3}{4}$ mit Violett und zwar jede dieser Farben möglichst schön und rein genommen, gefärbt werde.

1 Ogleich NEWTON durch eine nicht allzu sicher begründete Vergleichung der Farben mit den Tönen auf die Zahlenverhältnisse kam, die dieser Rechnung zu Grunde liegen, so scheinen sie doch der Erfahrung so nahe gemäß, daß man sie mit Nutzen gebrauchen kann.

2 Art. *Anwendungen*. No. 11.

Wenn man den so gefärbten Kreis in eine schnelle Drehung um seine Axe setzt¹, so folgen die Eindrücke, welche die einzelnen Farben aufs Auge machen, so schnell nach einander, daß das Auge sie nicht zu unterscheiden im Stande ist, und das Auge sieht den ganzen Kreis mit einer Färbung, worin keine jener Farben vorherrscht, nämlich in einem Grau, das desto minder dunkel ist, je glänzender die angewandten Farben waren. Auf ähnliche Weise könnte man, indem man die Drehscheibe mit zwei verschiedenen Farben oder mit dreien u. s. w. zu gleichen oder ungleichen Theilen färbte, diejenigen Mischungen dem Auge darstellen, die diesen entsprechen und hätte dabei wenigstens den Vortheil, daß die Farben selbst keine Aenderung durch chemische oder andere Einwirkung erlitten; in dem Fall muß man immer an die erwähnte Unvollkommenheit der gefärbten Körper denken.

Man hat auf verschiedene Weise gesucht, die Uebergänge der Farben in einander durch Mischung von Färbestoffen nachzuahmen. Das *Mayer'sche Farbdreieck* ist bestimmt, diese Mischung in genau gegebenen Verhältnissen zu bewirken. In dem man nämlich ein Dreieck so, wie die Zeichnung angiebt, eintheilt, und den an den Ecken liegenden Theilen reines Roth, reines Blau, reines Gelb giebt, soll man in den zwischen r, b liegenden Fächern alle Abstufungen von Roth und Blau gemischt hervorbringen. In unserer Figur, wo 6 Fächer zwischen r und b liegen, würde r reines Roth, das nächste Fach 4 Theile Roth, 1 Theil Blau, das folgende 3 Theile Roth, 2 Theile Blau, das vierte 2 Theile Roth, 3 Theile Blau, das fünfte 1 Theil Roth, 4 Theile Blau, das sechste, b, reines Blau enthalten. Eben so würden die an den beiden andern Seiten liegenden Fächer die Uebergänge von Roth zum Gelb, vom Gelb zum Blau darstellen. Die in der Mitte liegenden Fächer enthalten Mischungen aus drei Farben; in der zweiten Reihe von unten solche, die 1 Theil Roth enthalten, und diesen gemischt mit 1 Theil Gelb und 3 Theilen Blau in dem Fache u, oder mit 2 Theilen Gelb und 2 Theilen Blau im Fache v, oder mit 3 Theilen Gelb und 1 Theil Blau im Fache w. Will man diesen Farben noch die Abstufun-

1 Eine sorgfältige Anleitung, welche Farben und wie man sie auftragen muß, um ein möglichst schönes Weiß hervorgehen zu sehen, giebt Lüdicke. G. V. 275. XXXIV, 17. 366.

gen beifügen, die durch Zumischung von Weiß entstehen, so muß man eine Reihe solcher Dreiecke malen, wo in dem einen überall 1 Theil Weiß, in dem andern 2 Theile Weiß u. s. w. in die Mischung kommt.

Dieser Gedanke würde, um feste Bezeichnungen für die Farben zu erhalten, sehr passend seyn, wenn nur nicht die Ausführung, wie schon LICHTENBERG fand, so große Schwierigkeit hätte, da die Mischung nicht geradezu nach den Verhältnistheilen der Färbestoffe geschehen kann, und bei einer feuchten Mischung vollends die verlangten Abstufungen oft ganz verloren gehen¹.

LAMBERT glaubte² diesen Gedanken, den schon LEONARDO DA VINCI angegeben hatte, mit einer von CALAU verfertigten Wachs ähnlichen Substanz, die mit den Farben gemischt wurde, besser zu Stande zu bringen; indess empfehlen die Farben auf der dem Buche beigefügten Tafel (die freilich in so langer Zeit sich verändert haben mögen), sich nicht so sehr. Die *Farbenpyramide* fängt unten mit einem Dreieck, dessen Seite 9, das Ganze also 45 Fächer enthält, an, und die Mischungen gehen hier mit Achteln fort. Das zweite Dreieck enthält 7 Fächer in jeder Seitenlinie und 28 Fächer im Ganzen; die Mischungen schreiten nach Sechsteln fort, aber zu jeden 6 Portionen werden zwei Portionen Weiß gemischt, so daß die Farben alle heller sind. Das dritte Dreieck hat 5 Fächer auf jeder Seitenlinie, und die Eckfächer enthalten nun 4 Portionen Blau oder Roth oder Gelb mit 4 Portionen Weiß gemischt, und eben so haben die vermischten Farben nur 4 Portionen der ihnen zukommenden Farben und 4 Portionen Weiß. Das vierte Dreieck hat 4 Fächer an jeder Seite und die Farbenmischungen schreiten nach Dritteln fort, aber zu 3 Portionen Farbe kommen 5 Portionen Weiß. Das fünfte Dreieck besteht nur noch aus 6 Fächern, die zu 6 Portionen Weiß entweder 2 Portionen Blau oder Roth oder Gelb, oder auch von je zweien derselben eine Portion enthalten. Das sechste Dreieck enthält nur drei Farben, die aus 1 Roth mit 7 Weiß, 1 Blau mit 7 Weiß, und 1 Gelb mit 7 Weiß be-

1 Tob. Mayeri opp. inedita. cura Lichtenbergii. De affinitate colorum.

2 Beschreibung einer mit dem Calauschen Wachs ausgefalteten Farbenpyramide. Berlin 1772.

stehen. Endlich folgt noch die letzte Schicht mit 1 Fach ganz weifs.

RUNGE'S *Farbenkugel*¹, welche die Mischungen der Farben und ihr Uebergehen in Weifs nach der einen Seite, in Schwarz nach der andern Seite darstellt, gehört zu den gelungenern Versuchen dieser Art. Er denkt sich auf der Oberfläche einer Kugel einen grössten Kreis gezeichnet, auf welchem in drei, um 120 Gr. von einander entfernten Puncten reines Roth, Blau, Gelb, aufgetragen wird. Läßt man nun von diesen Puncten aus, Uebergänge der Farben in einander, nach regelmässig zunehmender Beimischung der benachbarten Farbe, statt finden, so kommt 60 Grade vom Blau und Gelb dasjenige Grün vor, welches sich weder dem Blau noch dem Gelb zu sehr nähert, von da an aber der Uebergang in Gelb auf der einen, in Blau auf der andern Seite; eben so ist es mit Orange und Violett. Nimmt man die diesem grössten Kreise zugehörenden Pole, so erhellet nun leicht, welche Färbung jedem Puncte der einzelnen Parallelkreise zukomme; wenn ich nämlich den einen Pol den weissen, den andern den schwarzen nenne, so ist es wohl verständlich genug, wenn ich sage, durch irgend einen Punct des zuerst mit Farben ausgestatteten grössten Kreises gehe nach Art der Meridiane ein grösster Kreis nach beiden Polen zu, und dieser werde mit allen Abstufungen der Farbe, die er in jenem trifft, zum Weifs hinüber nach dem einen Pole zu, und zum Schwarz hinüber nach dem andern Pole zu gefärbt. So entsteht auf der Kugeloberfläche ein vollkommen dargestellter Uebergang aller Farben je zwei in einander und aller in Schwarz und Weifs hinüber. Will man Mischungen aus drei haben, so muß man sich Durchschnitte der Kugel denken, und auf jedem Durchmesser die Uebergänge aus einer gegebenen Mischung in die, welche ihr gerade gegenüber steht.

Ergänzungsfarben;

Complémentairfarben (couleurs complémentaires) nennt man gegenseitig diejenigen, die einander zum

1 *Farbenkugel* oder Construction des Verhältnisses aller Mischungen der Farben zu einander und ihrer vollständigen Affinität. Von P. O. Runge. (Hamb. 1810.)

Weiß ersetzen. So ist also Gelb die Ergänzungsfarbe des Violett, welches Roth und Blau enthält, und Violett die Ergänzungsfarbe des Gelben; Grün ist die Ergänzungsfarbe des reinen Roth, und Orange die Ergänzungsfarbe des reinen Blau. Diese Farben zeigen sich bei den Newton'schen Farbenringen, die im Art. *Anwendungen* beschrieben sind. Sieht man nämlich da eine gewisse Farbe durch zurückgeworfenes Licht, so kann man sicher seyn, daß die in eben dem Punkte durchgelassenen Strahlen und die Ergänzungsfarbe von jener zeigen, und diese Farbenringe können daher dienen, um selbst zu den sich hier zeigenden gemischten Farben die genauen Ergänzungen kennen zu lernen. Daß die Abendröthe die Ergänzungsfarbe des blauen Himmels zeigt, habe ich im Art. *Abendröthe* erwähnt; wie diese Farben als sich einander *fordernde* im Auge entstehen, werde ich später in diesem Artikel zeigen, wo denn auch von den farbigen Schatten mit ihren, als Ergänzungsfarben zu einander gehörenden Farben die Rede seyn wird.

Epopische und entoptische Farben.

22. Den Namen *epoptische* Farbe hat v. GÖTTE den Farben beigelegt, die wir unter mancherlei Umständen an der Oberfläche der Körper entstehen sehen, und unter welchen die Farbenringe, die ich im Art. *Anwendungen* beschrieben habe, die vorzüglichsten sind¹.

Daß diese Farbenringe, deren Beschreibung ich hier nicht wiederholen will, da entstehen, wo von einer sehr dünnen Schicht eines durchsichtigen Körpers einige Farbenstrahlen zurückgeworfen werden, während die übrigen hindurchgehen, ist eine so genau der Erscheinung gemäße Behauptung, daß man kein Bedenken tragen kann, dieses als eine Thatsache anzusehen. Auch das ist hinreichend bestätigt, daß die Farbenstrahlen, die bei der Dicke = a der durchsichtigen Schicht unter bestimmtem Winkel zurückgeworfen werden, eben diese Zurückwerfung auch bei der Dicke = $3a$; = $5a$; = $7a$ erleiden, dagegen bei der Dicke = $2a$; = $4a$; = $6a$; vollkommen durchgelassen werden. Zeigen sich diese Farben auf einer Luftschicht

¹ v. GÖTTE rechnet mehrere Fälle hierher, von denen es zweifelhaft ist, ob sie hierher gehören, z. B. die Farben, die an dem Sprunge einer soliden Glasmasse sich zeigen.

zwischen der convexen Oberfläche eines Linsenglases und der ebenen Oberfläche eines gewöhnlichen Glases, so sind es Farbenringe, die kreisförmig um den Mittelpunct, wo beide Gläser einander berühren, sich bilden. Die Ordnung, wie die Farben sich da zeigen, der Grund, warum in den äußeren Ringen gemischte Farben sichtbar werden, das Größerwerden der Ringe, wenn bei veränderter Stellung des Auges die Strahlen unter schiefern Winkeln ins Auge kommen, ist im Art. *Anwendungen* genauer betrachtet¹.

Wegen dieser ungleichen Größe der Farbenringe, die von der Lage des Auges abhängt, entsteht der Wechsel der Farben bei veränderter Stellung des Auges.

Ist die Luftschicht nicht so regelmäsig, so zeigen sich, zwischen zwei an einander gedrückten Glasplatten oder Prismen, eben solche Farben, die aber nun andere Linien, so wie es die Lage der einander gleich nahen Punkte der Oberflächen und wie es die Lage des Auges fordert, bilden. Eben diese Farben sind es, die sich auf den Seifenblasen zeigen, wo die ungemein dünne Schicht Wasser nach ähnlichen Gesetzen wirkt, wie in den vorigen Fällen die Luftschicht. Auch dünne Blättchen fester Körper zeigen Farben nach eben den Gesetzen. Ist nämlich die Dicke des Blättchens so geringe, daß jene Zurückwerfung einiger Farbenstrahlen statt findet, während andere durch-

1 Zu der dort in No. 15. gemachten Bemerkung glaube ich noch etwas beifügen zu müssen. Wenn man nicht bloß 7 Farbenstrahlen annimmt, sondern, wie es Natur gemäßer scheint, eine nach dem Gesetze der Stetigkeit durch unendlich kleine Abstufungen fortgehende Ungleichheit der Brechbarkeit: so läßt sich einsehen, daß zwar alle Strahlen, deren Brechbarkeit zwischen gewissen Grenzen liegt, dem Auge die Empfindung des Violett geben, während doch jeder von ihnen seinen Weg anders, nach Maßgabe der ungleichen Brechbarkeit, fortsetzt. Der Strahl, der in der geometrischen Mitte des rein violetten Farbenringes im einfarbigen Lichte von der dünnen Luftschicht zurückgeworfen wird, mag immer vollkommen zurückgeworfen werden, so wird doch immer der auf eben den Punct fallende nächste Strahl von etwas anderer Brechbarkeit hier durchgehen; und da der einfallende Strahl nie ein im strengsten Sinne einziger ist, der nur ein einziges Theilchen von der Brechbarkeit, die z. B. dem genau mittlern Violett zukommt, enthielte, so erklärt sich völlig, warum theils die Farbenringe eine gewisse Breite haben, theils auch selbst da, wo eine gewisse Farbe zurückgeworfen wird, dennoch einige Farbenstrahlen derselben Art durchgehen.

gelassen werden, so zeigen sie sich dem Auge, welches reflectirte Strahlen von ihnen erhält, in jener Farbe. Aber die unter verschiedenen Winkeln auffallenden Strahlen erleiden eine ungleiche Zurückwerfung, indem andere Farbenstrahlen bei einem andern Winkel zurückgeworfen werden; es zeigt sich daher theils, wenn das Blättchen groß genug ist, um diese für verschiedene Punkte eintretende Ungleichheit der Winkel merklich werden zu lassen, eine verschiedene Farbe in verschiedenen Punkten, theils bei veränderter Lage des Auges eine Aenderung der Farbe, ein Farbenspiel, das noch mannigfaltiger wird, wenn das Blättchen keine genaue Ebene darstellt, sondern hier und da unter andern Winkeln gegen das Licht und gegen das Auge geneigt ist. Folgendes von BIOT¹ entlehnte Beispiel erläutert dieses noch mehr. Er nahm ein Micablättchen (Glimmer), welches sehr lebhaftes Farben gab. Um es besser zu beobachten, ward es horizontal auf eine schwarze Unterlage gelegt, und nun, indem es dem Lichte glänzender Wolken ausgesetzt war, unter verschiedenen schiefen Winkeln betrachtet. Bei senkrecht einfallenden Strahlen zeigte das Blättchen ein lebhaftes Grün, welches dem dritten Farbenringe (und dieser entsteht bei Luftschichten, wenn die Dicke $\frac{252}{10000000}$ eines engl. Zolles ist²), zu entsprechen schien; liefs man dagegen bei einer andern Stellung des Auges die schiefen einfallenden Strahlen ins Auge gelangen, so ging die Farbe zum Blau, zum Purpur, zum Roth über, und das letztere, anfangs etwas dunkel, erhellte sich jemehr und mehr, je kleiner der Winkel zwischen dem Strahle und der Fläche wurde. Aus der Folge dieser Farben liefs sich schliessen, dafs das letzte Roth zwischen dem Ponceauroth und dem glänzenden Roth des zweiten Farbenringes liege, (Farben, denen im Mittel die Dicke $= \frac{190}{10000000}$ in einer Luftschicht bei senkrechten Strahlen entspricht.) Dafs diese Farben wirklich den angegebenen Farbenringen der dritten und zweiten Ordnung entsprechen, läfst sich noch näher nachweisen, wenn man nach den Formeln³ (Art. *Anwendungen* No. 13. 14.) rechnet. Ist

1 Biot Tr. d. phys. IV. 79.

2 Vergl. Art. *Anwendungen*. S. 312.

3 Biot IV. 27.

nämlich $\frac{m}{n}$ das Brechungsverhältniß für Glimmerblättchen, so würde $\frac{m}{n}$ 25,2 Milliontheilchen die Dicke seyn, wobei sie jenen grünen Strahl senkrecht zurückwerfen, und $\frac{m}{n} \cdot 19$. Sec. $u = \frac{m}{n} \cdot 25,2$

Millionth. würde, wenn $\text{Sin. } u = \frac{105 + \frac{m}{n}}{106} \text{ Sin. } r$ ist, die

Dicke für den rothen Strahl der zweiten Ordnung ausdrücken, wenn r der Brechungswinkel ist. Die erste Gleichung giebt hier $\text{Cos. } u = \frac{19}{25,2}$; $u = 41^\circ 3' 50''$.

$\text{Sin. } u = 0,6569 = \frac{105 + \frac{m}{n}}{106} \text{ Sin. } r$, welches, weil $\text{Sin. } r = \frac{n}{m}$ ist, wenn der Einfallswinkel $= 90^\circ$ ist,

$\text{Sin. } u = 0,6569 = \frac{105}{106} \cdot \frac{n}{m} + \frac{1}{106}$; $\frac{n}{m} = 0,6536$; $\frac{m}{n} = 1,53$ giebt.

Aus den beiden Farbenbeobachtungen ergibt sich also, daß das Brechungsverhältniß $= 1,53$ für das Glimmerblättchen seyn mußte, und dieses Brechungsverhältniß ist dem, was ähnliche Körper (Bergkrystall $= 1,56$, Doppelspath $= 1,66$, Crownglas $= 1,53$) geben, recht wohl entsprechend.

Mit diesen auf der Oberfläche der dünnen Blättchen erscheinenden Farben sind immer Erscheinungen ähnlicher Art vermöge der durchgelassenen Farbenstrahlen verbunden. Wird nämlich bei auffallendem weißen Lichte eine Farbe zurückgeworfen, so müssen die sämtlichen durchgelassenen Strahlen die Ergänzungsfarbe (No. 21) zu jener bilden. Daß diese sich wirklich zeigt, ist schon im Art. *Anwendungen* gesagt; sie ist aber matt oder mit Weiß vermischt, weil immer auch Farbenstrahlen der Art, die zurückgeworfen werden, die wenigstens dem Auge eben die Farbenempfindung erregen, durchgehen, wovon ich den Grund kurz vorher in der Anmerkung angegeben habe.

Uebrigens gehören hierher die bunten Farben, die man oft, wenn Wasser mit einem sehr dünnen Häutchen bedeckt ist, auf

demselben sieht¹. Auch das Anlaufen des Stahls rechnet man hierher, indem auch die hierbei entstehenden Farben einer sehr dünnen Schicht anzugehören scheinen.

23. Was wir hier durch sehr dünne Blättchen bewirkt sehen, kann sich auch auf dickeren Platten durchsichtiger Körper zeigen. Am schönsten geschieht dieses bei den SEEBECK'schen Farbenercheinungen; wo einige Lichtstrahlen durch Polarisirung unfähig gemacht sind zurückgeworfen zu werden, und andere farbige Lichtstrahlen dagegen vollkommen reflectirt werden. Diese Farbenercheinungen, die SEEBECK *entoptische* nennt, weil sie den Anschein haben, als entständen sie im Innern der Körper, scheinen gleichwohl mit den vorigen auf dünnen Blättchen, die man ebenfalls durch polarisirte Strahlen schön zeigen kann, in eine Classe zu gehören². Die Beschreibung der vielen Farbenphänomene, die mit der Polarisirung des Lichtes verbunden sind, muß ich hier übergehen.

Eine Erscheinung, die NEWTON beschreibt, und die er sowohl als BIOT hierher rechnet, führe ich an, ohne zu entscheiden, ob sie wirklich hierher gehört. Er ließ auf einen gläsernen Hohlspiegel Licht durch eine kleine Oeffnung fallen und erblickte nun theils durch das zurückgeworfene Licht Farbenringe um diese Oeffnung oder auf einer dem Spiegel gegenüber gestellten weißen Fläche, theils sah er auch, wenn er das Auge an die Stelle brachte, wo sich auf der Tafel die Ringe gezeigt hatten, den Spiegel selbst mit Farbenspiel bedeckt. Ich werde hierüber im Art. *Farbenringe* noch etwas mehr sagen³.

Katoptrische Farben.

24. Obgleich alle eben beschriebenen Farbenphänomene auch durch reflectirtes Licht hervorgehen, so führt doch v. GÖTTE unter dem Namen *katoptrischer Farben*⁴ einige andere Erscheinungen an, die allerdings eine eigene Classe zu bilden

1 Vorzüglich schön und schnell wechselnd sieht man sie, wenn man an einem Metalldraht einen kleinen Tropfen ätherischen Oeles auf die Oberfläche von Wasser bringt.

2 Vgl. Art. *doppelte Brechung*. No. 14. und Art. *Polarisirung des Lichts*.

3 Biot. IV. 175.

4 Farbenlehre I. S. 142.

scheinen. Die Erscheinungen sind zum Theil bekannt genug. Wenn man z. B. eine polirte Silberplatte nimmt, in welcher sich aber einige feine Linien eingerissen befinden, so erscheinen an diesen bunte Farben, besonders Grün und Purpur. Läßt man eine Silberplatte von Scheidewasser so anfressen, daß das Kupfer aufgelöst wird, so bietet die nun nicht mehr ganz gleiche Oberfläche glänzende mit bunten Farben gezielte Punkte dar. Etwas ähnliches zeigt sich überall, wo eine nicht ganz gleichförmige Oberfläche Licht zurückwirft, an den Fäden der Spinnengewebe, an Haaren, endlich vorzüglich schön und mannigfaltig am Perlmutter.

Daß diese Farben durch sehr feine Furchen in der übrigens polirten Oberfläche entstehen, hat schon YOUNG erkannt, der diese Farben aus dem Zusammentreffen zweier Lichtportionen erklärt, deren eine an der einen Seite, die andere an der andern Seite der Furche zurückgeworfen wird¹. Er stellte seine Beobachtungen an Mikrometern an, die in Glas eingerissen, 500 Parallellinien auf den Zoll enthielten².

Einen Gebrauch von diesen gefurchten Flächen, um schön ins Auge fallende Farben-Erscheinungen zu bewirken, hat BARTON zuerst öffentlich bekannt gemacht. Eine sehr genau gearbeitete Theilmachine erlaubt ihm, Linien in Stahl einzuschneiden, die nur $\frac{1}{10000}$ Zoll von einander entfernt sind, und die Kunst, die von ihm sogenannte *Iris ornaments*, Regenbogen-Verzierungen zu machen, besteht darin, daß er diejenigen Theile der Metallflächen, die zu diesen Verzierungen bestimmt sind, mit gleich entfernten Linien versieht. Wenn er die Linien in minder kleinen Abständen von einander einschneidet, so zeigten sich die das Hauptbild eines leuchtenden Punktes begleitenden Farbbilder jenem Hauptbilde näher und standen auch selbst einander näher; sind dagegen die Parallellinien sehr nahe an einander, so stehen die Bilder weiter von einander ab und sind sehr lebhaft. Im Sonnenlichte zeigen diese gefurchten Flächen ein Farbenspiel, das BARTON mit den schönen Lichtblitzen des Diamants vergleicht. Bei so eng gezogenen Linien, daß 5000 bis 10000 auf den Zoll kamen, zeigten sich die Bilder am schönsten³.

1 S. Art. *Interferenzen*.

2 Gilb. Ann. XXXIX. 186.

3 Edirburgh. philos. Journ. No. XV. p. 128. und Gilb. Ann.

Ehe ich zu dem übergehe, was BIOT und FRAUNHOFER zur Erklärung dieser Phänomene gesagt haben, will ich vorher ein zur Beobachtung derselben sehr brauchbares Instrument beschreiben, welches von dem sehr geschickten Mechanicus HOFFMANN in Leipzig angegeben ist. An der Axe A, die mittelst des in der Figur sichtbaren runden Kopfes gedreht werden kann, ist im Innern des 1 Zoll hohen Cylinders, dessen Grundfläche die Figur zeigt, eine schön polirte Stahlplatte befestigt, auf welcher mit einer sehr genauen Theilmaschine feine Linien mit Diamant in gleichen Abständen eingerissen sind; die Linien fallen am zweckmäßigsten aus, wenn man 3000 auf den Paris. Zoll nimmt. Diese kleine mit feinen Linien erfüllte Fläche erhält, da das cylindrische Gefäß sonst überall geschlossen ist, einzig durch einen in der krummen Fläche des Cylinders bei B offen gelassenen Spalt, den man durch einen Schieber nach Willkür verengen kann, auffallendes Licht; die zweite Oeffnung C des cylindrischen Gefäßes, auf welche das 8 Zoll lange Rohr CD, ohne Gläser¹, aufgeschraubt ist, weist dem Auge seine zur Beobachtung angemessene Stelle an; das Rohr enthält bei C eine Blendung, welche nur eine, der lineirten Fläche gleiche Oeffnung hat. Am Umfange des Kreises CB ist eine Gradtheilung, die ihren Anfangspunct da hat, wo die Axe des Rohres liegt; sie giebt halbe Grade an, und ein mit der Axe A verbundener Zeiger, der immer eine senkrechte Lage gegen die Spiegelplatte behält, zeigt bei jeder Stellung der Stahlplatte den Winkel an, den die Gesichtslinie mit dem Einfallslothe macht.

Um hier die Farbenfolgen, die vermöge der eingerissenen Linien sich zeigen, auf einmal zu überschauen, kann man das Rohr abschrauben und das Auge dicht an C bringen. Stellt man dann den Zeiger auf $32\frac{1}{2}^\circ$, (weil zwischen der Lage des Auges und des Spalts 65 Grade enthalten sind) und läßt nur einen sehr engen Spalt offen, so sieht man das Bild des durch diesen Spalt

LXXXIV. §79. Solche irisirende Knöpfe werden jetzt in England und in Frankreich aus Messing verfertigt, indem man auf ihre Ebene die gefurchten Flächen mit Stempeln aufträgt. Gegen das helle Sonnenlicht gehalten reflectiren sie gegen eine weiße Papierfläche einen Kreis mit sehr vielen höchst lebhaften prismatischen Farbenbildern.

1 In der Figur nicht in seiner ganzen Länge gezeichnet.

Original in der
 Bibliothek des
 Herrn Hofrath
 Dr. H. C. Schlegel
 in Leipzig

sein Licht hereinsendenden Himmels als Spiegelbild in der Mitte des Gesichtsfeldes, daneben an beiden Seiten einen dunkeln Raum, an welchen sich dunkel violett, blau, grün, gelb, roth, so anschließt, daß Roth in dieser Farbenfolge den entferntesten Platz einnimmt. An diese erste Farbenfolge schließt sich eine zweite, — nur durch einen kleinen dunkeln Raum von jener getrennt, — die breiter aber minder lebhaft ist und eben die Farben enthält. Die dritte Farbenfolge, die noch mehr Raum einnimmt, bekömmt man zu sehen, wenn man den Zeiger bis zu 26° fortrückt, sie fängt mit einer wenig' erleuchteten Farbenmischung, die sich als ein sehr dunkles Grün zeigt an; daran grenzt ein ins Rothe fallendes Violett, dem ein reines Blau (das Blau der dritten Ordnung) folgt. Dreht man den Zeiger weiter, so zeigt sich ein schmutziges, ins Gelbliche hinübergehendes Weiß, dann reines Gelb, schönes helles Roth, Purpur, Blau (also Blau der vierten Ordnung); diese Farben treten nach und nach, so wie man weiter dreht, ins Gesichtsfeld, und endlich folgt mit immer minderem Lichte Grün, schmutziges Gelblichgrün, an welches röthliches Violett grenzt, und zuletzt das fünfte Blau, wenn das Auge senkrecht in den Spiegel sieht. An der andern Seite ist die Folge der Farben ziemlich, jedoch nicht ganz so; der Unterschied hat seinen Grund in der beim Drehen der Axe anders bestimmten Lage der Spiegelfläche gegen das Auge.

Bedient man sich des Rohres, das eine enge Oeffnung, um dem Auge seinen bestimmten Platz anzuweisen, hat, so kann man genauer angeben, wann jede Farbe in der Mitte des Gesichtsfeldes erscheint. Richtet man dann den offenen Spalt nach der Sonne zu und stellt das Auge so, daß es von dem zurückgeworfenen Glanze nicht zu sehr geblendet wird, so erscheinen nicht bloß die auf der Stahlplatte sich darstellenden Farben im schönsten Glanze, sondern man sieht auch den Widerschein derselben an der innern Wand des Rohres ganz wie prismatische Bilder vorbeigehen.

Um über die genaue Lage, wobei jede einzelne Farbe reflectirt wird, unterrichtet zu seyn, muß man die verschiedenen durch das Prisma getrennten Farbenstrahlen auf den Spalt fallen lassen, wobei man zugleich die Farben-Erscheinungen auf eine ungemein schöne Weise, jede Farbe vollkommen rein und bei

fortwährend geänderter Stellung der Axe periodisch mit erneuertem Glanze wiederkehrend sieht¹.

BIOT erklärt diese Phänomene eben so, wie die bei der Beugung² entstehenden. Er beobachtete ihr Entstehen theils auf sehr schmalen, oder wegen der sehr geneigten Lage des ausfallenden Strahles wenigstens als sehr schmal erscheinenden polirten Flächen, theils auf gefurchten Flächen. Im letzteren Falle nimmt er an, die im Boden der Furche reflectirten Strahlen würde an den Rändern der Furche der Wirkung der Beugung oder Diffraction ausgesetzt; aber auch die schmalen, zwischen den Furchen liegenden Streifen werfen seiner Meinung nach ein durch Diffraction modificirtes Licht zurück³.

Auch FRAUNHOFER stimmt in diese Erklärung ein. Er liefs das Licht von einer mit Goldblättchen belegten Glasplatte, wo im Goldblättchen feine Parallellinien radirt waren, zurückwerfen, und fand eben solche Farbenspecter, als wenn das Licht durch ein aus nahe bei einander stehenden Parallellinien gebildetes Gitter gegangen wäre⁴.

25. Ueber das *Farbenspiel auf Perlmutter* hat BREWSTER genaue Beobachtungen angestellt⁵. Auch da hängt das Phänomen von Furchen auf der Oberfläche ab, und zeigt sich am regelmäfsigsten, wenn die Blättchen parallel sind. Betrachtet man die Oberfläche des Perlmutter mit starker Vergröfserung, so erkennt man diese Furchen, die sich durch kein Schleifen oder Poliren fortschaffen lassen. Bei regelmäfsiger Bildung des Perlmutter sind diese feinen Furchen parallel, sonst oft auch in allerlei Richtungen gekrümmt. Die Furchen sind zuweilen schon mit achtmaliger Vergröfserung zu erkennen, oft aber so eng, dafs man 3000 Furchen auf einen Zoll rechnen kann. Drückt man die Oberfläche des Perlmutter in Kitt, in feines schwarzes Siegelack, in Wachs, in arabischen Gummi, in Goldblättchen,

1 Eine umständlichere Erzählung würde hier zu viel Platz rauben, ich hoffe sie an einem andern Orte mitzuthemen. Das Instrument selbst möchte ich das *Hoffmann'sche Inflexioskop* nennen, da es die Erscheinungen der Inflexion zeigt. Hoffmann selbst nennt es *Chromadot*, Farbengeber.

2 S. Art. *Inflexion*.

3 Biot Tr. d. ph. IV. 772.

4 Schuhmacher's astron. Abh. 2tes Heft. S. 97.

5 Philos. Trans. for 1814. p. 397.

die auf Wachs liegen, ab, so zeigen diese Körper eben die Eigenschaften in Beziehung auf das reflectirte Licht.

Nach BREWSTER's Beobachtungen zeigt sich auf regelmäßigen, gut geschliffenen, aber nicht polirten Perlmutterstücken außer dem Hauptbilde eines Lichtes noch ein doppeltes farbiges Nebenbild, und die Lage dieser Bilder hängt von der Stellung der Perlmutterplatte ab. In dem schön gefärbten Nebenbilde, welches dem Hauptbilde am nächsten lag, zeigte sich das Blau diesem am nächsten; das entferntere Bild lag immer mit jenen beiden in derselben geraden Linie, zeigte sich als eine undeutlicher begrenzte Licht-Erscheinung, die bei großen Einfallswinkeln schön roth, bei kleinern grün, bei noch kleinern gelblich weiß war; die Farben hingen mit von der Dicke des Blättchens ab. Wird die Oberfläche polirt, so sieht man an der entgegengesetzten Seite ein dem ersten Nebenbilde ähnliches Bild.

Ich bin ungewiß, ob auch das Opalisiren hierher gehört; es scheint ebenfalls in der Lage der Blättchen des opalisirenden Körpers — des Opals, des Schillerspaths, des Labradors, des opalisirenden Muschelmarmors — seinen Grund zu haben. Ob das Farbenspiel des Dichroits und ähnlicher dichroitisch farbenspielender Körper mehr hiernit oder mit der Polarisirung des Lichts zusammenhängt, scheint auch noch unentschieden.

Paroptische Farben.

26. *Paroptische* nennt v. ГÖТНЕ die Farben, die sich um das durch sehr enge Oeffnungen in das dunkle Zimmer einfallende Licht zeigen. Man hat sie auch *perioptische* genannt. Da das, was man, um sie zu erklären, anführt, im Art. *Inflexion* vorkommt, so erzähle ich hier nur kurz die Erscheinungen.

Läßt man den Sonnenstrahl durch eine nicht allzu kleine runde Oeffnung in das dunkle Zimmer einfallen, und fängt man ihn auf einer weißen Tafel auf, so zeigt sich das runde Sonnenbild gleichförmig weiß. Stellt man aber diesem Strahle einen undurchsichtigen Körper entgegen, in welchem nur eine Oeffnung wie ein feiner Nadelstich angebracht ist: so zeigen sich um das auf einer weißen Tafel aufgefangene, von den durch

1 Der Art. *Zurückwerfung*, ungewöhnliche, wird das Nähere angeben.

diese kleine Oeffnung gehenden Strahlen hervorgebrachte Sonnenbild farbige Kreise. Diese Farbenringe haben ihr Violett und Blau innen, ihr Orange und Roth außen. Bringt man das Auge an die kleine Oeffnung und sieht nach der größern, durch welche das Licht eingelassen wurde, so sieht man diese mit Farbenringen umgeben, die nichts anders sind, als der Eindruck eben derjenigen Farben auf die Netzhaut des Auges, welche wir bei dem vorigen Versuche an der Wand sahen.

Wie viel schöner diese Farben-Erscheinungen sich zeigen, wenn man den leuchtenden Gegenstand durch ein Netz sehr feiner gleich weit von einander gezogener Fäden ansieht, hat FRAUNHOFER sorgfältig untersucht und beschrieben. Die wiederholten Farbenbilder kehren immer ihr Violett gegen das Hauptbild zu, ihr Roth davon abwärts. Aehnliche farbige Bilder der Lichtflamme sieht man, wenn man zwischen den Augenwimpern durch auf die Lichtflamme blickt. Am schönsten nimmt man sie wahr, wenn man die unbeschädigte Fahne einer Rabenfeder vor das Auge hält, und die Sonne hindurch anblickt. Die Erscheinungen, wie sie durch zwei oder mehr einander ganz nahe feine Oeffnungen sich darstellen¹, findet man bei FRAUNHOFER abgebildet.

Man erklärt aus diesen paroptischen Erscheinungen die Höfe um Lichte und um Sonne und Mond, die durch Dünste oder Wolken hervorgebracht werden.

Natürliche Farben der Körper.

27. Es ist eine bekannte Erfahrung, daß die Farbe der Körper, die wir ihre *natürliche Farbe* nennen, von dem auf sie fallenden Lichte abhängt. Die Gegenstände, die wir im hellen Tageslichte weiß nennen, erscheinen uns roth, wenn die roth untergehende Sonne sie bescheint, und wegen des gelben Lichtes, welches unsere Kerzenlichter und Lampen geben, irren wir uns nicht selten in der Farbenbestimmung, indem wir bei Kerzenlichte zuweilen das für grün halten, was uns am Tage blau erscheint u. s. w. Noch auffallender wird dieses, wenn das farbige Licht, wie es von durchsichtigen, farbigen Körpern durchgelassen oder durch Zerlegung der weißen Strahlen vom

¹ Fraunhofer über neue Modificationen des Lichts in Schumacher's astron. Abh. 2tes Heft.

Prisma hervorgebracht wird, die Körper erleuchtet; denn da erscheint uns im blauen Strahle des durchs Prisma gebrochenen Lichtes ein Körper, der irgend bedeutend viel Licht zurückwirft, blau, wenn er auch im gewöhnlichen Lichte roth erschien.

Die auffallendsten Beweise für die Behauptung, daß die Farben der erleuchteten Körper von dem Lichte, welches auf sie fällt, abhängen, geben einige künstliche Beleuchtungen. Wenn man einen baumwollenen Docht mit gewöhnlichem Küchen - Salze stark einreibt, so daß er viele Salztheilchen zwischen seinen Fäden enthält, und ihn dann in eine Weingeistlampe gesetzt anzündet, so giebt er ein hinreichend helles, fast ganz einfarbiges, gelbes Licht. Von der — zwar nicht ganz vollkommen, aber doch sehr wenig von der Vollkommenheit abweichenden — Homogenität dieses Lichts überzeugt man sich, wenn man die Flamme durch ein Prisma besieht, wo sich an ihr gar kein Roth oder Grün, oder Blau, sondern neben der rein gelben Flamme nur ein sehr mattes violettes Bild zeigt; dieses Violett ist aber so matt, daß es auf die gleich zu beschreibenden Phänomene keinen merklichen Einfluß zeigt, so daß ich die Flamme beinahe als ein einfarbiges Gelb ansehen darf. Diese Flamme zeigt nun im völligen Dunkel eine völlige Aufhebung aller Farben, das Gelb ausgenommen. Alles Roth, das ein wenig ans Gelbe grenzt, zeigt sich in diesem Lichte schmutzig gelb, aber durchaus ohne Roth. Ein Roth, das ganz von Gelb frei ist, erscheint schwarz oder allenfalls ein wenig in Braungelb hinübergehend; helles Grün, helles Blau erscheint grau oder gelblich - grau. Betrachtet man zum Beispiel die schöne Farbentafel in GÖTTE's Farbenlehre (Tab. III.) so erscheint das Weiß und Gelbe gelblich - weiß, das Roth schwärzlich - grau, das Blau völlig schwarz; daß andere Farben vorkommen, bemerkt man durchaus nicht¹.

Wenn wir also einem Körper eine Farbe beilegen, die ihm eigenthümlich ist, so darf man dieses zwar nicht so verstehen, als ob diese Farbe ihm, wie Härte, Weichheit und andere Eigenschaften, immer eigen sey; denn ohne Licht ist die Farbe nichts. Aber gleich wohl ist der Ausdruck, die Farbe

¹ Mehrere ähnliche Versuche beschreibt TALBOT Edinb. Journ. of Science. No. IX. p. 77. BREWSTER's monochromatische Lampe leistet etwas Aehnliches. Poggendorf's Annalen II. 98.

sey dem Körper *natürlich* und *eigenthümlich*, deswegen verstatet, weil er die Eigenschaft besitzt, da, wo alle Farbenstrahlen, im weissen Lichte, ihn treffen, unserm Auge gerade diejenigen Farbenstrahlen zuzusenden, die wir als seine eigenthümliche Farbe ansehen. Indefs darf man nicht glauben, daß der rothe Körper einzig die rothen Strahlen zurückwerfe. Daß dieses nicht im strengsten Sinne so sey, erhellet schon daraus, weil der Körper sonst im blauen Sonnenlichte, wie das Prisma es darstellt, vollkommen dunkel erscheinen müßte, wenn er gänzlich unfähig wäre, andere als rothe Strahlen zurückzuwerfen; es zeigt sich uns aber auch, wenn wir gefärbte Körper durch das Prisma betrachten, wo sie sich uns fast allemal mit Farbenrändern, worin andere Farben kenntlich sind, zeigen. Die Oberfläche der rothen Körper wirft nämlich zwar vorzüglich rothes Licht zurück, und absorbirt einen großen Theil der übrigen Farbenstrahlen oder macht sie unwirksam; aber dennoch ist fast immer noch ein geringer Antheil weissen Lichtes dem rothen beigemischt und so in allen Fällen¹.

Wie es sich mit der Modification des Lichtes eigentlich verhält, vermöge welcher gewisse Farbenstrahlen von den Körpern vorzugsweise zu unserm Auge gelangen, ist schwer zu bestimmen, doch geben folgende Ueberlegungen einige Aufschlüsse, wenn sie gleich noch vieles zu erklären übrig lassen. Eben so wie bei den weissen Körpern immer ein großer Theil des Lichtes verloren geht, und nur ein Theil in dem, was wir Erleuchtung einer Fläche nennen, uns sichtbar wird, eben so geschieht es auch hier, nur mit dem Unterschiede, daß dieses verloren gegangene Licht hier nicht für alle farbigen Strahlen einerlei Verhältniß zu dem zurückgeworfenen oder von der Oberfläche des Körpers zurückgesendeten Lichte hat. — Auch bei den Körpern, die wir weifs nennen, ist die Menge des absorbirten Lichtes sehr ungleich und das Weifs neigt sich zum Grau hin, wenn die erleuchtete Fläche wenig Licht zurückgiebt; eben so ist es auch bei den farbigen Körpern, aber da hier die Absorption für jede Art von Strahlen eine andere ist, so entsteht die unendliche Mannigfaltigkeit von Farben und Farbenmischun-

¹ Indefs zeigen die eben erwähnten Versuche, daß diese Beimischung doch oft sehr geringe ist.

gen in allen auch nur möglichen Graden von Lebhaftigkeit und Glanz, von Helle oder Tiefe.

Von dem Einflusse, den die absorbirten Strahlen auf den Körper haben, der sie anscheinend in sich aufnimmt, wissen wir wenigstens das, daß sie auf die Erhöhung der Temperatur einwirken, und dieses ziemlich in einem Grade, den man der Menge des absorbirten Lichtes proportional nennen möchte, wenn gleich diese Menge nicht so genau bestimmbar ist.

BOYLE hat schon durch eine Reihe von Versuchen das näher bestimmt, was allerdings schon aus gewöhnlicher Erfahrung bekannt seyn mußte, daß schwarze Körper sich mehr erhitzen, als weiße. Er zeigte auch, daß schwarze Körper wenig Wärme reflectiren¹. Später hat FRANKLIN, indem er das Schmelzen des Schnees unter darauf gelegten ungleichfarbigen Körpern beobachtete, die Ungleichheit der Erwärmung bei verschiedene Farben nachgewiesen. Etwas mehr leisten LESLIE'S Versuche², der die Kugeln von Thermometern mit verschiedenen farbigen Ueberzügen versah, und das ungleiche Steigen der Thermometer beobachtete. Er liefs auch das von farbigen Flächen reflectirte Licht oder vielmehr die reflectirte Wärme, auf Thermometer mit geschwärzten Kugeln fallen, und fand, daß rothe Flächen fast eben so viel Licht als weiße zurückwerfen, blaue Flächen dagegen warfen am wenigsten Licht zurück. BÖCKMANN hat ähnliche Versuche angestellt, die überhaupt die verschiedenen Umstände, von denen die Erwärmung durch die Sonne abhängt, betreffen³.

28. Unter den Erklärungen, wie das Licht an der Oberfläche der Körper modificirt werde, um uns diese als verschiedenfarbig zu zeigen, hat die von NEWTON⁴ aufgestellte Vergleichung mit den Farben dünner Blättchen am meisten Beifall bei den Physikern gefunden. Man könnte die Frage, warum eine bestimmte Fläche nur die bestimmte Art von Farbenstrahlen als eigenthümliche Farbe des Körpers aussendet, dadurch beantworten, daß man jedem Körper eine bestimmte Affinität zu den

¹ Priestley's Geschichte der Optik, S. 117. der Uebers.

² Gilb. Ann. X. 90.

³ Gilb. Ann. X. 359. XII. 404. BÖCKMANN über die Fähigkeit verschiedener Körper, durch die Sonne erwärmt zu werden,

⁴ Optice Lib. 2. Pars. 3.

verschiedenen Lichtstrahlen zweignete; aber NEWTON glaubte den Erscheinungen mehr Genüge zu thun, indem er ohngefähr folgende Ansicht faßte:

Bekanntlich entsteht Zurückwerfung der Lichtstrahlen an der hintern Seite durchsichtiger Körper da, wo der Strahl in die Luft hervorgehen sollte. Im Allgemeinen findet Zurückwerfung des Lichtes da statt, wo ein Uebergang aus einem Mittel in ein anderes von mehr oder minderer Brechkraft vorkömmt, und sie ist um desto stärker, je größer diese Ungleichheit der brechenden Kraft ist.

Die undurchsichtigen festen Körper scheinen aus sehr dünnen, durchsichtigen Theilchen zu bestehen, deren Zwischenräume mit Materien, die das Licht weit weniger brechen, angefüllt sind, und die Undurchsichtigkeit entsteht durch die wiederholten Zurückwerfungen im Innern der Körper. Diese dünnen Blättchen, aus welchen die Körper zusammen gesetzt sind, müssen nun, nach Maßgabe ihrer Dicke und Brechkraft bald die eine, bald die andere Art von Farbenstrahlen leichter zurückwerfen, während sie die ihnen zugehörenden Ergänzungsfarben leichter durchlassen, gerade so wie es im Art. *Anwendungen*, und oben bei Gelegenheit der *epoptischen Farben* gezeigt ist.

Einen nicht unwichtigen Beweis für die Richtigkeit dieser Hypothese giebt das Verhalten dünner Goldblättchen, wenn man sie auf helles, weißes Glas aufklebt, in welchem Falle sie die natürliche Farbe des Goldes reflectiren, die grüne aber durchlassen. PREVOST¹ hat aber gezeigt, indem er das Licht wiederholt von den nämlichen polirten Metallflächen reflectirt werden ließ, daß alle Metalle durch das zugleich zurückgeworfene viele weiße Licht eine andere Farbe zeigen, als sie wirklich haben, und daß es somit namentlich kein eigentlich weißes Metall giebt. Das Gold erschien auf diese Weise roth, und in den dünnsten Blättchen zeigt es also durch Reflexion die durch vieles Weiß zum Gelben modificirte rothe Farbe, während die grüne Farbe durchgelassen wird, welche jener als complementäre zugehört². Mit andern Metallen, deren vielleicht keines Blättchen von hinlänglicher Feinheit liefert, hat man bisher

¹ Ann. Ch. et Ph. IV. 192. 436.

² Vergl. oben No. 21. unten No. 29.

noch keine Versuche zur weiteren Prüfung der Sache angestellt.

Bei einigen Körpern bemerken wir die Uebereinstimmung ihrer Farben-Erscheinungen mit denen dünner Blättchen daran noch auffallender, daß sie uns bei verschiedener Stellung des Lichts und des Auges andere Farben darbieten, wie zum Beispiel die Federn des Pfauenschweifes. Da aus den Beobachtungen der von dünnen Blättchen zurückgeworfenen und durchgelassenen Farbenstrahlen bekannt ist, wie diese Farben von der Dicke der Blättchen und der Brechkraft derselben abhängen, so läßt sich umgekehrt aus der Farbe eines Körpers auf die Größe dieser Theilchen zurückschließen; jedoch muß man dabei mit Sicherheit angeben können, zu welcher Ordnung der Farbenringe die Farbe des Körpers zu rechnen sey. Das recht reine und lebhaft Roth und Gelb kömmt nur in der zweiten Ordnung der Farbenringe vor; in der ersten und dritten Ordnung ist es zwar auch noch ziemlich lebhaft, aber das Gelb der ersten Ordnung ist doch matter, und das Gelb und Roth der dritten Ordnung mit Blau und Violett gemischt; die grünen Farben sind in der dritten Ordnung am reinsten; das reinste und glänzendste Weiß muß man als der ersten Ordnung zugehörig ansehen, (z. B. die weißen Metalle,) minder reines Weiß dagegen entsteht bei größerer Dicke der Theilchen aus einer Mischung aller Farben.

Dies sind ungefähr NEWTON'S Ansichten, auf welche er und andere Physiker weitere Schlüsse gebaut haben. BIOT macht die Bemerkung, daß der Einwurf, es müsse sich bei anderer Lage des Auges gegen die Fläche, welche das Licht auffängt, eine andere Farbe zeigen, gehoben werde, wenn man diesen kleinen Theilchen der Körper eine sehr starke Brechkraft beilege, — und diese könne stark seyn, wenn auch der Körper im Ganzen das Licht nicht so sehr breche¹.

Einige chemische Veränderungen der Farben, wohin man auch die allmäligen Farbenwechsel im Pflanzenreiche rechnen kann, glaubt BIOT auch nach dieser Ansicht erklären zu können. Das Grün der Blätter ist von NEWTON mit Grund als ein Grün der dritten Ordnung angesehen worden. Wenn nun irgend eine Aenderung, z. B. beim Welken der Blätter, vorgeht,

¹ Biot IV. 126. 132.

wodurch die Dicke der Theilchen eine Zunahme und die Farbe eine absteigende Aenderung (nach der Ordnung der Farbenringe absteigend) erleidet, so muß dem Grün ein Gelb, dann Orange, dann Roth folgen, so wie das Abwelken weiter fortschritt. BROT glaubt, so lange die vegetative Kraft sich noch mehr und mehr entwickelt, gehe die Farbe zu Ringen steigender Ordnung über, hingegen zu herabsteigender Ordnung, wenn die Pflanze zu welken anfängt. Die jungen Eichenblätter gehen vom Roth ins Gelblichgrün und Grün über, so wie in dem dritten Farbenringe durch zurückgeworfene Strahlen die Farben einander folgen, wenn man von den äußersten Farben in demselben nach innen fortschreitet. Wenn die Blume des Geißblattes sich öffnet, so zeigt sie ein reines Weiß der ersten Ordnung, welches sich nach und nach ins Gelbliche zieht, wenn sie welkt¹. Das Geranium sanguineum hat in seiner besten Blüthe ein violettliches Roth, welches als der Uebergang von dem Roth der ersten Ordnung zum Violett der zweiten Ordnung anzusehen ist; beim Welken wird sie blau — blau der zweiten Ordnung. —

Nach diesen Ansichten hat man nun bei mehreren Körpern die Dicke der Blättchen anzugeben gesucht. Das tiefste Schwarz, wo fast im strengsten Sinne gar kein Licht zurückgeworfen ward, beobachtete BREWSTER an einem merkwürdigen Stücke Quarz, das an seinem Bruche vollkommen schwarz erschien; er bemerkt, dieses müsse dasjenige wahre Schwarz seyn, welches bei Glas nur dann entsteht, wenn das Blättchen $\frac{1}{4}$ des Millionthels eines Zolles dick ist, und so dick etwa müßten die Quarztheilchen hier seyn².

NEWTON selbst hat schon ähnliche Betrachtungen über die Größe der Quecksilbertheilchen angestellt³, die BROT auf Gold, Silber u. a. erweitert.

29. Die *Intensität* des farbigen Lichtes, welche feste Körper zurückwerfen, hat LAMBERT untersucht⁴. Um zum Bei-

1 Dafs Roth der auffallenden Blume müßte dann wohl das gleich nachher erwähnte Roth im Uebergange von der ersten zur zweiten Ordnung seyn.

2 Poggendorfs Annalen. II. 295.

3 Optice. Lib. II. Pars. 3. Props. 6.

4 Photometria. p. 512 u. f.

spiel zu bestimmen, ob rothes Siegellack die rothen Lichtstrahlen eben so gut und im Verhältniß der auffallenden eben so reichlich zurückwerfe, als weißes Papier die Strahlen aller Farben zurückwirft, legte er Siegellack auf weißes Papier, so daß beide vom hellen Sonnenlichte gleich beleuchtet wurden. Er sah nun das Papier durch ein Prisma an, und zwar in einer solchen Stellung, daß der rothe Farbenrand zunächst an dem Siegellack erschien, und verglich das so sich zeigende Roth mit einander. Da sich bei dieser Vergleichung kein Unterschied zwischen dem Roth des Siegellacks und jenes Randes fand, so schloß er, die rubedo des Siegellacks sey der albedo des Papiers gleich zu achten, oder vielmehr, weil die farbigen Strahlen des Papiers durch das Prisma gingen, statt daß das Siegellack mit bloßem Auge angesehen wurde, jene sey etwa um ein Viertel geringer als diese.

Dies Experiment könnte man, glaubt LAMBERT, für Roth und Violett immer anwenden, und da die Intensität der Farben geringer sey, einen weißen Körper von geringerer Weise anwenden. Für die Farben, welche den mitten im Farbenspectrum liegenden Strahlen entsprechen, lasse sich diese Vergleichung nicht gut gebrauchen. Folgendes Hülfsmittel könne dagegen allemal zur Vergleichung dienen. Man lasse in das recht sorgfältig verfinsterte Zimmer durch zwei runde Oeffnungen Licht einfallen, lasse Lichtstrahlen auf ein Brennglas fallen, und nachdem sie durch dieses gegangen und vom Prisma aufgefangen sind, stelle man den beiden Lichtstrahlen in der angemessenen Entfernung, um das Bild der runden Oeffnung deutlich zu zeigen, eine farbige und eine weiße Tafel entgegen. Ist die farbige Tafel zum Beispiel grün, so sehe man, ob das Grün des prismatischen Bildes auf der grünen und auf der weißen Tafel gleich lebhaft erscheint, und wenn das nicht der Fall ist, so gebe man derjenigen Tafel, die eine Farbe von größerer Intensität zeigt, eine solche Neigung, daß die farbige Erleuchtung sich als gleich zeigt; daraus läßt sich, nach den im Art. *Erleuchtung* gegebenen Regeln berechnen, wie sich dies bei senkrechter Erleuchtung von beiden Flächen zurückgeworfene Licht verhält.

Diese Methode läßt sich sogar anwenden, um die Frage zu beantworten, wie viel rothe Strahlen die grün gefärbte Fläche zurückwirft. Man muß nämlich dann der weißen Fläche

diejenige Neigung geben, wobei das Roth der beiden Farbenbilder gleich lebhaft erscheint, und so erhellet, wie LAMBERT von der rubedo eines mit Grünspan (essigsauerm Kupferoxyd.) gefärbten Papiers sprechen kann. LAMBERT hat wenige Versuche, die diesen Gegenstand betreffen, angestellt; es wäre wohl der Mühe werth, wenigstens einige Proben, wie weit sich Uebereinstimmung in die Versuche bringen lasse, zu geben.

Eine Bemerkung von PREVOST will ich hier noch beifügen. Wenn man das von polirtem Golde zurückgeworfene Licht auf einem ebenen, spiegelartig polirten, Golde auffängt, so erscheint hier das Gelb des Goldes viel tiefer, fängt man das abermals zurückgeworfene Licht auf einem Golde, Spiegelplättchen auf, so ist die Farbe noch mehr dem Orange zugegangen. Dies rührt daher, weil das reflectirte Bild theils aus Strahlen besteht, die als weiße Strahlen zurückgeworfen werden und vermöge welcher allein schon das Gold in seiner gewöhnlichen Farbe erscheinen würde, aber auch theils aus gelben Strahlen besteht, die nicht nach den bloßen Gesetzen der Spiegelung, sondern nach den Gesetzen der zerstreuten Zurückwerfung, wobei nur *eine* Farbe ausgesandt wird, eben dorthin gelangen, und die dort entstehende Farbe verstärken.

Durch diese wiederholte Abspiegelung lernt man also besser die eigentliche Farbe des Körpers kennen. Silber zeigt sich auf diese Weise nicht weiß sondern gelb, so daß das Weiß nur als Beimischung des unzerlegten zurückgeworfenen Lichtes, welches von der Farbe des Körpers unabhängig ist, angesehen werden muß¹.

30. In Beziehung auf die durchsichtigen Körper, welche sich uns farbig zeigen, scheinen zwei Hauptfälle statt zu finden. Entweder es werden alle Arten von Farbenstrahlen ziemlich gleichförmig absorbirt, aber nur gewisse Farbenstrahlen zurückgeworfen, andere durchgelassen; oder es werden gewisse Farbenstrahlen gänzlich absorbirt, und die übrigen theils zurückgeworfen, theils durchgelassen. Der erste Fall scheint in der Atmosphäre in einem sehr vollkommenen Grade statt zu finden², und daher erscheint uns diese blau durch reflectirte Strahlen und gelbroth vermöge der durchgelassenen Strahlen. Immer sind es

¹ Annales de Chimie et de Physique. IV. 192. 436.

² Vergl. *Abendröthe*.

hier die Ergänzungsfarben, zu den durch Zurückwerfung gesehenen, welche sich uns als durchgelassene zeigen, und wo sie es nicht genau sind, da hat dieses darin seinen Grund, daß nicht völlig eine gleichmäßige Absorption aller Farbenstrahlen statt findet.

Auch im Wasser scheint ein ähnliches Gesetz der Zurückwerfung und Durchlassung statt zu finden. NEWTON erzählt¹, daß HALLEY in der Taucherglocke in bedeutender Tiefe im Meere die von den durchs Wasser gehenden Strahlen der Sonne erleuchteten Gegenstände roth sah (*colore roseo*), dagegen warf das unterhalb befindliche Wasser ein grünes Licht zurück. Da auch an der Oberfläche des Meeres das Wasser grün erscheint, so muß man schliessen, daß es die grünen Strahlen zurückwirft, weil es aber eine große Menge Lichtstrahlen von allen Farben durchläßt, auch in der Tiefe noch gemischtes Licht genug erhält, um grüne Strahlen zu reflectiren. Das durchgelassene rothe Licht wurde ein helles Roth² wegen der noch beigemischten vielen weißen Strahlen. — Es wäre der Mühe werth, diese Halley'sche Erfahrung theils im Meere, theils in Strömen, deren Wasser verschiedene Färbungen zeigt, zu prüfen.

Auch bei kleineren Quantitäten flüssiger Materien kommt etwas Aehnliches vor, daß sie nämlich blaues Licht zurückwerfen und gelbes oder gelbes und rothes Licht durchlassen. NEWTON bemerkte diese Eigenschaft an der *infusio ligni nephritici*; an Glasstücken hat man zuweilen auch Gelegenheit sie wahrzunehmen.

Bei durchsichtigen Körpern dieser Art zeigt sich der Körper oft sehr weißlich im zurückgeworfenen Lichte, wenn Farben aller Art zurückgeworfen werden, aber zu diesen sich noch Farbenstrahlen *einer* Art, die blauen zum Beispiel, mischen, die sich von den ihnen zugehörigen durchgelassenen getrennt haben, in diesem Falle ist das durchgelassene Licht schwach, aber der Farbe nach die Ergänzung der im zurückgeworfenen Lichte vorherrschenden Farbe. Das weiße Knochenglas giebt hierzu ein Beispiel; durch zurückgeworfenes Licht erscheint es weiß, aber in einigem Grade bläulich; die meisten Lichtstrahlen werden also unzerlegt zurückgeworfen, von den übrigen

¹ Optice Lib. I. Pars. 2. Propos. 10.

² Darauf nämlich scheint *color roseus* hinzudeuten.

dagegen wird nur das Blau zurückgeworfen und die übrigen Farben werden durchgelassen und zeigen uns die weissen Gegenstände durch Knochenglas gesehen feuerroth.

Andere Körper erscheinen mit einer bestimmten Farbe, man mag sie durch reflectirtes Licht sehen oder das durchgehende Licht beobachten. Hier werden alle andere Farben völlig absorhirt. HERSCHEL hat einige schöne Bemerkungen über diese Arten farbiger durchsichtiger Körper gemacht¹. Zuerst bemerkt er, daß einige Gläser gewisse Farbenstrahlen beinahe ganz ungeschwächt durchlassen, während sie andere vollkommen unterdrücken. Bedient man sich ihrer um das durch das Prisma in Farbenstrahlen zerlegte Sonnenlicht durch sie durchgehen zu lassen, so erhält man ein rundes einfarbiges Bild, und wenn man durch sie die vom Prisma gebrochenen Strahlen anderer Körper zum Auge gelangen läßt, so erscheinen diese scharf begrenzt. Andere Körper lassen mehr als eine Art von Farbenstrahlen durch, unterdrücken dagegen die übrigen. Verdünnte Lackmus-Tinctur zum Beispiel läßt gar keine gelbe und fast gar keine grünen Strahlen durch und zeigt daher, wenn man den Sonnenstrahl durch sie gehen läßt, im prismatischen Farbenbilde² ein rundes tief rothes Sonnenbild, völlig gesondert von einem länglichen violett und blauen Bilde, das sich sehr matt ins Grünliche hinein verlängert³.

Eine andere Bemerkung von HERSCHEL betrifft den Fall, wo die durchgelassenen Strahlen zwei Farben enthalten oder wo sich zwei Maxima darstellen, wenn man die Menge der durchgelassenen Strahlen durch Ordinaten in jedem Punkte des Farbenspectrum ausdrückt. Dieser Fall giebt Veranlassung zu der auffallenden Erscheinung, daß bei einer bedeutend dicken Schicht des durchsichtigen Körpers dieser vermöge der durchgehenden Strahlen anders gefärbt erscheint, als da wo die Schicht dünne ist. Eine Auflösung von Saftgrün sieht, wenn sie eine dünne Schicht bildet, smaragdgrün aus, statt daß eine dicke Schicht blutroth ist. Dieses erklärt sich aus der ungleichen Intensität der verschiedenen Farben. Wird der beim Eintritt intensivere Strahl in stärkerem Mafse geschwächt, als der min-

1 Phil. Transact. of the Edinb. Soc. IX. 445.

2 Nach meiner eigenen Erfahrung.

3 Vergl. oben No. 8. Anm.

der intensive, so behält jener bei geringer Dicke das Uebergewicht in der Mischung der durchgehenden Strahlen; aber bei größerer Dicke geht so viel von ihm verloren, daß der an sich schwächere sich als vorherrschend zeigt. Da nämlich nach den Gesetzen der Absorption, wenn das Licht bei der Dicke = 1 von der Quantität = a zur Quantität = μa herabgebracht wird, eben diese Quantität = $a \cdot \mu^t$ wird bei der Dicke = t , so kann in der Summe der durchgehenden Strahlen zweier Farben = $a\mu^t + a'\mu'^t$ das eine Glied überwiegend seyn, so lange t klein ist, während das andere überwiegend wird, wenn t groß ist. Zum Beispiel $10 \cdot \left(\frac{1}{25}\right)^{\frac{1}{2}} + 1 \cdot \left(\frac{24}{25}\right)^{\frac{1}{2}}$ giebt eine Summe, in welcher das erste Glied = 2, das zweite nicht völlig = 1 ist; aber $10 \cdot \left(\frac{1}{25}\right)^4 + 1 \cdot \left(\frac{24}{25}\right)^4$ giebt eine Summe, in welcher das erste Glied noch keine 3 Milliontel beträgt, während das zweite sich wenig von 1 entfernt hat und noch 0,85 beträgt. Wären also zum Beispiel 10 grüne Strahlen gegen einen rothen im Sonnenlichte und bliebe von jenen nur $\frac{1}{25}$ bei gewisser Dicke = 1, übrig, während von diesen $\frac{24}{25}$ übrig blieben, so würde

bei der Dicke = $\frac{1}{8}$ eine Farbmischung entstehen, die durch

$$10 \cdot \left(\frac{1}{25}\right)^{\frac{1}{8}} + 1 \cdot \left(\frac{24}{25}\right)^{\frac{1}{8}}$$

ausgedrückt, ungefähr $6\frac{2}{3}$ an Grün und nicht völlig 1 an Roth enthielte, also uns ziemlich rein grün erscheinen würde; bei der Dicke = 1 dagegen würde an Grün 0,4, an Roth 0,96; bei der Dicke = 4, an Grün fast gar nichts, an Roth noch 0,85 in der Mischung enthalten seyn. HERSCHEL zeigt in einer Reihe von Beobachtungen, wie sich die Erscheinungen in verschiedenen Körpern wirklich verhalten.

Aus BREWSTER's ganz ähnlichen Beobachtungen¹ führe ich nur an, daß die Wärme hierin zuweilen eine Aenderung hervorbringt. Purpurglas liefs zum Beispiel erhitzt Farbenstrahlen durch, die es bei niedrigerer Temperatur absorbirt hatte.

Daß einige doppelte Brechung bewirkende Körper das po-

¹ Phil. Transact. of the Edinb. Soc. IX. 439.

larisirte Licht in verschiedenen Stellungen ungleich absorbiren, zeigt BREWSTER¹.

Veränderungen, welche die Farben der Körper erleiden.

31. Da die vielen Erscheinungen, welche die Chemie darbietet, wo nämlich die Farben der Körper durch chemische Einwirkung geändert werden, mir lange nicht vollständig bekannt sind, so wünschte ich sehr, diesen Gegenstand von einer geschicktern Hand bearbeitet zu sehen; indess scheinen auch die Resultate aller bisherigen Beobachtungen noch zu wenigen festen Regeln geführt zu haben, und ich begnüge mich daher nur einige Erfahrungen mitzutheilen².

Die bekannteste Erfahrung ist, daß blaue Pflanzensäfte mit Säuren gemischt, eine rothe Farbe zeigen, mit Alkalien gemischt ins Grüne übergehen. Dafs man hier zuweilen bei gehöriger Vorsicht die ganze Reihenfolge der Farben beobachten kann, verdient bemerkt zu werden³. Wenn zum Beispiel die blaß violette Tinctur der *hemerocallis coerulea* durch eine Säure geröthet ist und man in einem hohen Glascylinder kohlen-saures Kali sich langsam mit jener Flüssigkeit mischen läßt, so sieht man unten eine grüne Schicht, über welcher sich blau, dann violett und zu oberst roth zeigen.

DELAVAL⁴ glaubt, die Säure mache die Theilchen der Körper feiner zertheilt und aus diesem Grunde gehe die Farbe in eine solche, wie sie dünnern Blättchen entspreche, über; bei der Einwirkung der Alkalien erfolge das Entgegengesetzte. Hiernach sollte man also sagen, der rothe, wenig violette Extract aus violetten Blumenblättern steige in der Farbenfolge der Newton'schen Tafel zum Gelb, wenn man Säuren hinzuthut,

¹ Edinburgh Philos. Journal. No. IV.

² Dafs die Bemerkungen in v. GÖTTE's Farbenlehre, 1. Theil. 3. Abth. gelesen zu werden verdienen, leidet keinen Zweifel.

³ Schweigger's Journal neue Reihe 16. Band, S. 294. Eben das findet nach Delaval S. 19. bei genauen Versuchen öfter statt, zuweilen aber sah er einen Uebergang durch einen fast farbenlosen Zwischenraum. S. 22.

⁴ Recherches experim. sur la cause des changemens de couleurs dans les corps opaques Paris. an. 4. de la Republ.

und steige herab zum Blau und Grün bei zugetropfeltem Kali¹. DELAVAL wendet dies auf die Aenderung der Farben, bei reifenden Früchten an. Vom Grün, welches die noch saure Frucht zeigt, geht die Farbe bei abnehmender Säure durch Gelb zum Roth über.

Dafs die Farben beim Anlaufen des Stahls eine ähnliche Farbenfolge zeigen, ist bekannt: sie fangen mit Gelb an, gehen durch dunkleres Gelb, (ohne dafs die Stufe des Rothwerdens sich wahrnehmen läfst) in Purpur, tiefes Blau, in Hellblau über, welches wenn das Roth vorkäme, eine ganz genaue Farbenfolge in absteigender Ordnung (vom Gelb der ersten Ordnung bis zum Hellblau der zweiten Ordnung) geben würde.

Aehnliche Aenderungen der Farbe durch Wärme, bei einer ganzen Reihe von Körpern, werden in den Annales de Chimie² erzählt, und auch hier sind die Uebergänge von Gelb in Roth oder sogar durch Roth in Violett, bei andern vom blaulich Grün ins gelblich Grüne, oder vom Blau ins Grün, dieser absteigenden Farbenfolge gemäfs. Hierher gehören ferner die Erscheinungen des mineralischen Chamaeleon³ und eine Menge andere, welche die chemischen Operationen höchst zahlreich darbieten.

Doch, es mag an der Erzählung dieser Fälle, zu denen sich aus DELAVAL leicht mehrere hinzufügen liefsen, genug seyn. Dafs man diese Farbenfolge als allgemein geltend ansehen dürfe, ist wohl nicht zu behaupten. —

Ueberhaupt läfst alle bisherige Untersuchung in dieser ganzen Lehre noch viel zu wünschen übrig.

Physiologische Farben.

32. Wenn wir eine Farben - Erscheinung unter bestimmten Umständen so wahrnehmen, dafs wir durch theoretische Gründe oder durch Erfahrung die Ueberzeugung haben, jedes gesunde Auge müsse die Farbe eben so sehen, so nennen wir die so zu beobachtende Farbe *objectiv*, wir suchen die Ursache der Farbe

¹ Delaval p. 20.

² Tome LXXXIII. 171. auch in Biot. *Traité de phys.* Tome IV. p. 136 kommen hierher gehörige Erscheinungen vor.

³ S. Th. II. S. 91.

in dem erleuchtenden Lichtstrahle oder in den Eigenthümlichkeiten der erleuchteten Fläche. Dagegen giebt es andere Farben-Erscheinungen, die nur bei bestimmter Affection des Auges hervorgehen, und diese nennen wir *subjective*, oder *physiologische*, von der Affection des Organs abhängige Farben-Erscheinungen, weil hier das eine Auge Farben an demselben Punkte, in derselben Stellung sieht, wo ein anderes, nicht denselben Affectionen unterworfenen Auge sie nicht sieht. Diese anscheinende Zufälligkeit ist Ursache, daß man diese Farben selbst *zufällige colores adventitii, colores accidentales, couleurs accidentelles, ocular spectra* genannt hat, obgleich auch sie nach sehr bestimmten Gesetzen hervorgehen.

33. Um sie richtig zu beurtheilen, müssen wir von verwandten, wenn gleich farbenlosen Erscheinungen anfangen. Wenn man das Auge auf eine schwarze Fläche, einen schwarzen Kreis zum Beispiel, richtet, der auf weißem Grunde liegt, so wird man sehr bald gewahr, daß die umgebende weiße Fläche unmittelbar an jenem schwarzen Gegenstande weißer, glänzender erscheint, als in größerer Entfernung von demselben; dagegen, wenn man eine weiße Kreisfläche, die von Grau umgeben ist, mit angestrengtem Blicke betrachtet, so erscheint das Grau nahe um die weiße Fläche dunkler, als der weiter entfernte Theil. Eben dahin gehört die Erfahrung, daß man im geschlossenen Auge das Bild eines Fensters mit dunkeln Scheiben und hellem Fensterkreuz nebst hellen Einfassungen der Scheiben, zu sehen glaubt, wenn man ein auf den hellen Himmel hinaus gerichtetes Fenster lange genug, mit einiger Anstrengung des Auges, angesehen hat.

Alle diese und ähnliche Erfahrungen kommen darauf zurück, daß ein durch stärkeres Licht mehr gereizter Theil der Netzhaut abgestumpft wird, und daher, wenn er nun eben so, als die umgebenden Theile, von mäßigem Lichte angeregt wird, sich minder empfänglich zeigt, oder uns die Empfindung matteren Lichtes wahrnehmen läßt. Hat dagegen ein Theil der Netzhaut, auf welchem der dunkle Gegenstand sich abbildete, Ruhe genossen, indem wenig oder gar kein Licht auf ihn fiel, so ist er jetzt empfänglicher für den Eindruck des Lichts, und wenn dann die Strahlen des Weiß oder des Grau bei einer etwas veränderten Richtung der Augen-Axen eben dahin fallen, so ist unsere Empfindung so, als ob das Weiß

glänzender, und das Grau heller wäre. Und eben so macht das schwache Licht, welches durch das geschlossene Auge noch unsere Seh-Organen trifft, auf diejenigen Theile der Netzhaut den schwächsten Eindruck, welche eben durch das stärkere Licht des durch die Fensterscheiben gesehenen hellen Himmels gereizt waren, während die Theile, auf welchen die dunklen Fensterkreuze und Einfassungen der Scheiben sich abbildeten, jetzt für den Eindruck des schwachen Lichts empfänglicher sind.

Hiermit stimmen nun die Farben-Erscheinungen überein, die sich dem Auge darbieten, wenn es lange und angestrengt auf einen farbigen Gegenstand gerichtet gewesen ist, und dann auf eine weiße Fläche gerichtet wird. Man lege seidenes Band von irgend einer recht reinen, lebhaften Farbe auf ein schön weißes Papier, richte, während Band und Papier von nicht zu schwachem Tageslichte erhellet sind, das Auge darauf, so als ob es darauf ankäme, jedes feinste Pünctchen des Bandes genau wahrzunehmen: so bemerkt man sehr bald, daß der zugleich mit im Gesichtsfelde des Auges liegende Theil des weißen Papiers farbig erscheint, und zwar die Farbe zeigt, die als Ergänzungs-Farbe der Farbe des Bandes zugehört. Diese Färbung zeigt sich am lebhaftesten dicht um den Rand des farbigen Bandes, und wenn man mit einiger Aenderung der Richtung der Augen-Axe auf diesen Rand sieht, so erkennt man hier die Ergänzungsfarbe am deutlichsten, und weiterhin, an den äußersten Grenzen des Gesichtsfeldes glaubt man eher wieder einen schwachen Schimmer der Farbe aus dem Weiß hervortreten zu sehen, welche dem Bande eigen ist. Zieht man, nachdem der farbige Rand um das Band sich zu zeigen anfing, ohne die Richtung des Auges zu ändern, das Band weg: so erscheint die ganze Fläche, die vorhin das Band bedeckte, zwar blaß, aber doch schön und rein mit jener Ergänzungsfarbe ausgestattet. War das Band rosenroth, so ist diese hervorgehende Farbe, diese, wie v. GÖTTE es ausdrückt, *geforderte* Farbe, ein schönes Grün; war das Band grün, ohne sich merklich ins Blau oder ins Gelb hinüber zu neigen, so ist die geforderte Farbe ein schönes Rosenroth; war das Band hellgelb, so zeigt sich nachher ein blasses Violett, und der Blick auf violette Band bringt nachher die Erscheinung des strohgelben hervor, dunkles Gelb, etwas ins Orange hinneigend, zeigt uns nachher ein Hellblau, so wie umgekehrt das hellblaue Band die weiße Fläche nach-

her in hellem orangefarbenen Lichte zeigt. — Man kann leicht eine Reihe Versuche mit mancherlei Abstufungen von Farben anstellen, wozu die seidenen Bänder wegen ihres reinen Farbensglanzes sich besonders geeignet zeigen, und immer wird man diese Behauptung, daß die Ergänzungsfarbe, zwar mit vielem Weiß gemischt, aber dennoch deutlich hervortritt, bestätigt finden.

Man kann den eben erzählten Versuch auch so abändern, daß man ein grünes Band auf rosenrothen Grund legt, und nachdem man das Grün lange scharf angesehen hat, nach dem rothen Grunde blickt, oder die dem Grün zunächst liegenden Theile des Roth betrachtet; dann erscheint da, wo bei weißem Grunde die geforderte Farbe sich zeigte, das Rosenroth schöner, etwas gesättigter, als es vorher der Fall war; und genau so wie der graue Grund um den schwarzen Kreis heller erschien, so zeigt sich das Roth lebhafter im Gegensatz gegen die Farbe, die gar kein Roth enthält, oder die Ergänzungsfarbe des Roth ist. Mit Gelb und Violett, Orange und Blau würde es sich eben so verhalten, nur muß man immer bemerken, daß der Grund, auf welchem die Verstärkung oder der lebhaftere Eindruck der Farbe hervortreten soll, nicht zu dunkel seyn muß.

34. Diese Beobachtungen sind fast eben so schon von BÜFFON¹ angestellt, der zugleich noch das glänzende Gold statt gelb gefärbter Körper, das Silber statt des Weiß empfiehlt, indem diese glänzenden Körper einen noch dauerndern Eindruck hervorbringen.

BÜFFON erzählt auch noch folgenden Versuch. Wenn man ein rothes Quadrat lange ansieht, so erscheint es bald mit blassem, schönen Grün umgeben; richtet man das Auge länger darauf, so sieht man das Quadrat in der Mitte blasser, an den Seiten tiefer gefärbt. Entfernt man sich nun ein wenig, während man denselben Gegenstand noch immer scharf betrachtet, so sieht man alle vier Seiten des tief rothen Vierecks sich in

1 Mém. de l'acad. de sc. à Paris 1743. p. 152. Etwas auf ähnliche Versuche Hindeutendes findet man schon in Physiologia Kircheriana ex vastis KIRCHERI opp. extraxit Kestlerus. Amst. 1680. Weit wichtiger aber ist DARWINS Zoonomie, übersetzt von Brandis 2te Abth. S. 519.

zwei theilen und ein eben so tief rothes Kreuz bilden. Das rothe Viereck erscheint dann wie ein Fenster, das mitten ein starkes Kreuz und weifsliche Scheiben hat. Bei noch längerem angestregten Hinsehen verwandelt sich das Ganze in ein so tief rothes Rechteck, dafs es die Augen blendet; dieses Rechteck ist eben so hoch als das Quadrat, aber nur ein Sechstel so breit; und dieses ist der letzte Grad der Erscheinung, den das höchst ermüdete Auge noch ertragen kann. Wendet man alsdann das Auge nach einem weissen Grunde, so sieht man ein eben so geformtes, schön und glänzend grünes Rechteck, welches erst langsam verschwindet.

Die dunkeln, meistens zum Purpur sich hinneigenden Bilder, die man sieht, wenn man die Sonne starr angesehen hat, gehören auch hierher; ihre Farbe erscheint nach Verschiedenheit des Grundes, auf welchem man sie sieht, anders, und zwar, wie BÜFFON bemerkt, so wie es die Mischung der natürlichen Farbe des Grundes mit der subjectiven Farbe des Bildes fordert. v. GÖTTE, der sich um die Erörterung der physiologischen Farbenphänomene viele Verdienste erworben hat, erzählt ganz ähnliche Versuche¹.

Auch eine merkwürdige, von BEER angeführte Erfahrung² gehört hierher. Wenn operirte Staarkranke, die schon Farben unterscheiden, gelbes auf weisses Papier gelegtes Band ansehen, so sehen sie anfangs das Gelb deutlich; je länger sie es ansehen, desto mehr legt sich die violette Einfassung, die auch wir zu bemerken pflegen, über das gelbe Band, so dafs endlich jenes erst kürzlich operirte Auge nichts mehr vom Gelb gewahrt wird. Eben so verwandelt sich Blau in Orange, Hellroth in Grün. TRECHSEL erzählt eine Erfahrung, die ebenfalls zu diesen Erscheinungen gehört³. In eine Capelle nahe bei Solothurn sind alle Fenster von gelbem Glase, so dafs im Innern die Erleuchtung aller Gegenstände ein sehr vorherrschendes Gelb hat. Oeffnet man einen der Fensterflügel so, dafs nur ein schmaler

1 Farbenlehre. I. 13. 20.

2 Das Auge oder Versuch das edelste Geschenk des Schöpfers zu erhalten u. s. w. von BEER. S. 1—8. Etwas hierher Gehöriges ergeben auch TROXLER's und HIMLY's Versuche in Himly ophthalm. Bibliothek. 1ster Bd. 2tes Stück. S. 11. und 2ter Bd. 2tes Stück S. 40.

3 Biblioth. univers. 1826. Mai.

Spalt die Aussicht auf den Himmel gestattet, so erscheint nicht blofs der wirklich blaue Himmel sehr schön blau, sondern auch weifse Wolken zeigen sich im schönsten Blau.

Ganz ähnliche Erscheinungen brachte v. GROTTHUSS¹ im finstern Zimmer hervor, wenn er die einzige, Licht einlassende Oeffnung mit einem farbigen Zeuge verdeckte. Bedeckt man nämlich diese Oeffnung mit einem durchsichtigen grünen Zeuge, worin eine kleine Oeffnung ist, so erscheint durch diese Oeffnung der Himmel röthlich, das Grün der Bäume unscheinbar und weiflich; vertauscht man aber die Bedeckung plötzlich mit einer rothen, die eine gleiche Oeffnung hat, so erhalten die Bäume sofort ihr Grün im schönsten Glanze wieder, aber das Roth der Ziegeldächer erscheint jetzt weiflich. Und etwas Aehnliches erhält man, wenn man ein gefärbtes Glas vor die Augen nimmt und nachdem man die Gegenstände dadurch angesehen hat, sie nun wieder mit freiem Auge betrachtet. War das Glas orangefarben, so erscheint weifses Papier und der graue Himmel nachher bläulich; war das Glas blau, so erscheinen eben die Gegenstände nachher gelb und glänzend.

35. Alle diese Erscheinungen lassen sich, wie ich glaube, aus einer zu starken Reizung des Auges erklären². Habe ich lange auf Roth gesehen, so ist das Auge für diese Farbe geblendet und dagegen für die übrigen Farbenstrahlen, die zusammen die Ergänzungsfarbe zu jener bilden, empfänglicher. Deshalb empfindet das Auge im Weifs, welches ihm alle Arten von Licht zusendet, das Grün als vorherrschend, aber doch so mit Weifs gemischt, dafs dieses sich als ein zwar schönes reines, aber doch nur sehr blasses Grün darstellt. Jenes Quadrat, welches BÜFFON anhaltend ansah, zeigte sich, wenigstens ehe die Ermüdung des Auges zu grofs war, am Rande tiefer roth, als in der Mitte, weil der Theil der Netzhaut, den die Mitte des Bildes traf, am meisten für das Roth geblendet war, der Theil dagegen, auf welchen das Bild des Randes fiel, durch das abwechselnd mit betrachtete Weifs, etwas mehr seine Fähigkeit, das Roth vollkommen aufzufassen, wieder gestärkt hatte, aber dennoch, sobald das Bild des Weifsen eben dahin fiel, in diesem die grünen Strahlen mehr als die rothen empfand. Diese

1 Schweigger's Beiträge zur Chemie und Physik. III. 14.

2 Die eine Beobachtung an operirten Staarkranken ausgenommen.

Erklärung, der auch v. GÖTTE nicht ganz abgeneigt scheint, ist genau übereinstimmend mit der, welche v. GROTHUSS annimmt.

36. Auch das doppelte Spiegelbild in gefärbten Gläsern muß nach ähnlichen Regeln erklärt werden. Nimmt man ein gelbes ins Orange übergehendes Glas und legt es so, daß man die Sprossen eines Fensters, durch welches der helle Himmel gesehen wird, in jenem Glase abgespiegelt sieht: so sieht man, wie bei allen Spiegeln, ein doppeltes Bild, eines nämlich durch Zurückwerfung von der Vorderfläche, eines durch Zurückwerfung von der Hinterfläche des Glases. Das Bild des Fensterkreuzes, welches die Hinterfläche giebt, erscheint blau, das von der Vorderfläche reflectirte orangefarben, aus folgendem Grunde. Unser Auge erhält wegen dieser doppelten Spiegelung aus jedem Punkte D der obern Seite der Glastafel AB zwei von verschiedenen Gegenständen ausgehende Lichtstrahlen, indem der Punct E durch Spiegelung an der obern Fläche, der Punct F durch Spiegelung an der untern Fläche in C von dem Auge O nach der Richtung OD gesehen wird. Ist nun ED sowohl als EC ein vom hellen Himmel kommender Strahl, so sieht das Auge O diesen hellen Punct blaß orangefarben, weil bei C gefärbtes, bei D ungefärbtes Licht zurückgeworfen wird, und die Mischung beider ein blässereres Gelb als sonst der Glastafel beim Hindurchsehen eigen ist, giebt; ist dagegen in F ein dunkler Gegenstand, wie das Fensterkreuz, von welchem gar keine oder wenigstens nur matte und unbedeutende helle Lichtstrahlen ausgehen, so empfängt das Auge O bloß ungefärbte Lichtstrahlen, die aus den eben erklärten Gründen die Empfindung des Blau hervorbringen, so daß das dunkle Bild des Fensterkreuzes, das von der Hinterseite dargestellt wird, als blau erscheinen muß. Umgekehrt zeigt sich das Fensterkreuz in der Vorderfläche abgebildet mit der völlig tiefen Orangefarbe, die dem Glase eigen ist, weil hier von C aus das gelb gefärbte Bild des hellen Himmels zum Auge gelangt, welches jetzt nicht wie vorhin durch Beimischung weißen Lichtes, ein blässereres Ansehen erhalten kann, weil in D kein Lichtstrahl vom hellen Himmel hingelangt. Ist der dunkle Gegenstand so breit, daß beide Lichtstrahlen, die wie ED, FC einfallen sollten,

Fig.
22.

durch ihn aufgehalten werden, so sieht das Auge O in D bloßes Dunkel, oder da fast nie ein Gegenstand ohne alles Licht ist, die matte Erleuchtung die diesem angemessen ist.

Bei jeder andern Farbe würde es sich eben so verhalten. Insbesondere sind schwach grün tingirte Glasstücke sehr geeignet, das doppelte grün und rosenroth gefärbte Bild zu zeigen¹.

Einen ähnlichen Erfolg von der durch zu starkes Licht entstehenden Ueberreizung des Auges sieht man in folgenden Versuchen, die ich nach THOMAS SMITH'S² Anleitung angestellt und mehrfach abgeändert habe. Man halte einen schmalen Streifen weißes Papier 8 bis 12 Zoll vom Auge und blicke, während ein Kerzenlicht sich dem einen Auge sehr nahe, seitwärts stehend, befindet, das andere Auge aber beschattet ist, nach einem weit jenseit des Papiers liegenden Gegenstande; man sieht dann bekanntlich den Papierstreifen doppelt, und bemerkt nun, daß der weiße Streifen dem beleuchteten Auge blaugrün, dem beschatteten Auge orangefarben, ja zuweilen ins Röthliche übergehend erscheint. Bringt man zwischen das Licht und das beleuchtete Auge ein gelbes Glas, so ist die Erscheinung ziemlich dieselbe; bringt man zwischen das erleuchtete Auge und das Licht ein blaues Glas, so sind beide gesehene Bilder ziemlich gleich, doch das mit dem beleuchteten Auge gesehene etwas minder gelb als das andere; beschattet man beide Augen, so sind die Bilder ganz gleich. Wird das eine Auge vom nahen Kerzenlichte ohne Schwächung beleuchtet, der Papierstreifen aber erhält das auffallende Licht durch ein orangefarbenes Glas, so sieht das beschattete Auge ein sehr gesättigtes Orange, das beleuchtete Auge ein sehr ins Gelbe übergehendes Grün. Fällt das Licht auf den weißen Streifen durch blaues Glas (das von mir gebrauchte gab einen schwachen Uebergang zum Violett,) so zeigt sich dem vom freien Kerzenlichte getroffenen Auge ein nur wenig lebhaftes aber rein grünes Bild, dem andern beschatteten Auge erscheint der weiße Streifen schön rosenroth. Ein hellblaues Band erscheint dem beleuchteten Auge tiefer blau, dem beschatteten fast ganz weiß;

¹ Vergl. BAUMGARTNER die Naturlehre nach ihrem gegenwärtigen Zustande u. s. w. Wien 1826. S. 341.

² Brewster's Edinb. Journ. of Science. No. IX. p. 52.

ein gelbes Band dagegen scheint dem beleuchteten Auge blasser, dem beschatteten dunkler gelb.

Alle diese einzelnen Erscheinungen lassen sich darauf zurückführen, daß das vom gelben Kerzenlichte geblendete Auge minder empfänglich für die gelben Lichtstrahlen ist, und daß das beschattete dann durch den Contrast uns das Gelb als vorherrschend zeigt. Aus diesem Grunde erscheint dem beleuchteten Auge ein gelbes Band blasser gelb, ein blaues tiefer blau; und aus demselben Grunde zeigt sich das weiße, oder eigentlich vermöge des gelben Kerzenlichtes etwas gelbliche Papier, dem beleuchteten Auge grün, dem beschatteten Auge orangefarben oder ins Hellroth übergehend. Könnte man ein ganz weiß beleuchtetes Papier haben, so müßte wohl jenes blau seyn, im Gegensatze gegen die orangefarbene Beleuchtung des Auges, und dieses orangefarben.

37. Diese subjectiven Farben sind es nun auch, die wir in den farbigen Schatten wahrnehmen. Ein Schatten, der so entsteht, daß die von ihm getroffene Fläche gar kein Licht empfängt, ist allemal ganz dunkel, das einfallende Licht, welchem gegenüber der Schatten entsteht, mag weiß oder gefärbt seyn; — v. GROTHUSS zeigt durch eigends deshalb angestellte Versuche im finstern Zimmer, wo nur durch *eine* Oeffnung Licht einfiel, daß es so sey. — Aber wenn nicht von einem einzigen Punkte her Licht einfällt, sondern ein in anderer Richtung einfallendes Licht den Raum erhellet, den der Schatten vom ersten Lichte hervorgebracht traf, so kann dieser Schatten farbig erscheinen. Zuerst nämlich ist an sich klar, daß die Erleuchtung der ganzen von jenen zwei Lichtern beleuchteten Fläche bläulich seyn muß, wenn das eine Licht blau, das andere weiß ist; und eben so einleuchtend ist, daß der Schatten, den das weiße Licht wirft, oder der dahin fällt, wohin keine Strahlen des weißen Lichtes gelangen, sich dunkler blau zeigen muß, als der übrige Raum, weil dort keine Beimischung weißer Strahlen ein Hellblau hervorbringt; dieses Blau ist also ein objectiver Erfolg der farbigen Beleuchtung. Aber nun bemerken wir zweitens, daß der dem blauen Lichte zugehörige Schatten unserm Auge gelb oder orangefarben erscheint, und dieses nur deshalb, weil der gegen das blaue

1 SMITH nennt das zweite Bild roth, was mir nicht ganz richtig scheint.

Licht beschattete Raum uns rein weiße Strahlen zusendet, aber wegen des umgebenden Blau uns mit der Ergänzungsfarbe des Blau erleuchtet erscheint, die also hier als subjective Farbe hervortritt.

Diese Erklärung scheint mir über alle farbige Schatten Auskunft zu geben. Wenn Kerzenlicht und Tageslicht zugleich eine Fläche erleuchten, und auch das Tageslicht bei bedecktem Himmel gar kein vorherrschendes Blau enthält, so zeigt sich doch der dem Kerzenlichte gegenüber entstehende, vom Tageslichte oder Dämmerungslichte erhelle Schatten blau, während der dem Tageslichte gegenüber entstandene vom Kerzenlichte erhelle Schatten gelb oder orangefarben ist; denn die gelbliche Erleuchtung der ganzen übrigen Fläche ruft da, wo unser Auge bloß weißes Licht empfängt, wo keine Strahlen des Kerzenlichtes hingelangen, die Ergänzungsfarbe, blau, hervor. Ist der Himmel, dessen Widerschein das Tageslicht ist, selbst blau, so kann dieser Umstand mitwirken, die blaue Farbe zu verstärken, aber nothwendig ist er nicht.

Selbst das gelbliche Kerzenlicht kann eine ähnliche Erscheinung eines blauen Schattens hervorbringen. Man stelle zwei gewöhnliche brennende Lichte so, daß ein schmaler Gegenstand einen doppelten Schatten auf eine weiße Ebene wirft, so erscheinen uns beide Schatten ganz gleich, grau oder matt erleuchtet. Aber nun schiebe man ein orangefarbenes Glas vor das erste Licht, so erscheint der vom zweiten Lichte geworfene, vom ersten erleuchtete, Schatten, orangefarben, der vom ersten Lichte geworfene, vom zweiten erleuchtete, hingegen bläulich. Offenbar erhält der Raum, den das freie Licht bescheint, eine matt gelbliche Erleuchtung, wie das bei unserm Kerzenlichte immer der Fall ist; aber der Raum, den beide Lichte erleuchten, hat so sehr ein vorwaltendes orangefarbenes Licht, daß das Auge in jenem Weiß, wenn gleich es auch schon ins Gelbliche übergeht, doch das vergleichungsweise vorherrschende Blau erkennt. Man mag hier sagen, das Auge empfinde in dem, mit nur wenigem Gelb gemischten Weiß, das Blau durch den Contrast, oder das durch das umgebende orangefarbene Licht für diese Farbe abgestumpfte Auge empfinde in jenem, wenn auch mit etwas Gelb vermischten Weiß, vorzugsweise das Blau; immer ist der Hauptsache nach der Sinn der Erklärung wohl derselbe.

RUMFOND hat¹ sich viele Mühe gegeben, eine Ansicht, die mit der eben ausgesprochenen sehr nahe verwandt ist, durch Versuche zu beweisen. Er machte nämlich auf die eben angegebene Weise einen breiten Schatten, der dem bloßen Auge blau erschien; betrachtete er diesen durch ein so enges Rohr, daß er nichts von der umgebenden beleuchteten Fläche zugleich mit übersah, so bemerkte er es gar nicht, wenn ein anderer das Licht, welches den Schatten warf, mit einer Platte gelben oder orangefarbenen Glases bedeckte oder diese Platte wieder wegnahm.

Um nicht zu weitläufig zu werden, will ich nur noch zwei Erscheinungen anführen, deren eine wohl nicht ganz mit Recht hierher gerechnet wird. Ich habe schon oben erzählt, daß HALLEY in der Taucherglocke das von oben durch das Meerwasser einfallende Tagslicht röthlich sah, während das von unten aus dem Wasser zurückgeworfene Licht die Gegenstände grün zeigte. Dieses war ohne Zweifel Folge der von oben durchgelassenen vorherrschend rothen Strahlen, denen zurückgeworfene grüne Strahlen entsprachen; aber wäre hier von einer Seite weißes Licht eingefallen, so würde das Auge dennoch in diesem weißen Lichte die Ergänzungsfarbe der farbigen Beleuchtung wahrzunehmen geglaubt haben.

Die zweite Erscheinung hat sich mir selbst oft dargeboten. Ich bewohnte ein stark von der Sonne beschienenes Zimmer, das durch grüne sehr dichte Vorhänge gegen die Sonne gesichert war. So lange nun alle Thüren oder sonstige Zugänge für das Licht geschlossen blieben, erschien alles im grünen Lichte und die Schatten dunkel, ohne Farbe. Sobald aber Tagslicht durch die Thür einfiel, nahmen alle Schatten eine schöne rosenrothe, ein wenig ins Violett übergehende, Farbe an. Besonders interessant zeigte sich dieses, wenn man weit entfernt vom Fenster neben eine seitwärts gehende Thüre eine weiße Tafel aufstellte. So lange die Thür geschlossen blieb, sah man die weiße, gegen das grün bedeckte Fenster gewandte, Tafel grünlich erleuchtet, aber sobald man die Thür öffnete, erschien sie dem vom Fenster her auf sie sehenden Auge in eben jenem rosenfarbenen, etwas violettlichen Lichte, weil die matte grüne Beleuchtung nun nicht bedeutend genug war, um zu hindern,

¹ S. Phil. Trans. LXXXIV. 107. Daraus in Grens Neues Journal der Physik. II. 58.

dafs aus dem Weifs des Tageslichtes die Ergänzungsfarbe hervorgerufen wurde.

38. Diese Erscheinungen sind auf sehr verschiedene Weise erklärt worden; ich führe diese Erklärungen nur kurz an. Dafs die blauen Schatten nicht dem blauen Lichte des Himmels zuzuschreiben sind, wie BOUGUER und andere¹ meinten, erhellet aus dem Vorigen. Der Beugung des Lichtes, weil die blauen Strahlen am meisten in den inneren Raum des Schattens hinein gebeugt würden, hat v. PAULA SCHRANK² diese blaue Färbung zugeschrieben, aber gewifs unrichtig, da weifses Licht in grüner Beleuchtung eben so gut röthliche Schatten hervorbringt. ZSCHOKKE, der eine Reihe interessanter Beobachtungen über diese Schatten angestellt hat³, scheint sie daraus zu erklären, dafs im farbigen Lichte nur die eine Farbe zurückgehalten werde, der Schatten also kein vollkommener, schwarzer Schatten seyn könne. — Offenbar kann aber in jenen Schatten doch nur dann Licht irgend einer Art kommen, wenn noch von einer zweiten Seite her Erleuchtung statt findet. v. GÖTTE⁴ hat dieses ganz richtig als eine Hauptbedingung erkannt, und diese Schatten als den subjectiven Farben-Erscheinungen angehörend betrachtet.

39. Schwieriger zu erklären sind einige andere Farben-Erscheinungen im Auge, auf welche v. GÖTTE vorzüglich aufmerksam gemacht hat⁵. Ich habe die Haupt-Erscheinungen oben⁶ schon mit v. GÖTTE's Worten erzählt, und füge hier seine Erklärung hinzu, die sehr viel für sich zu haben scheint⁷. „Das

1 z. B. zuerst LIONARDO DA VINCI, später auch MONCE. S. Gren J. II. 143.

2 Münchner Denksch. 1811 u. 12. S. 293. und 1813. S. 51.

3 Unterhaltungsblätter für Welt- und Menschenkunde. 1826. S. 49. Es finden sich in dieser Abh. auch noch mehr literarische Nachweisungen und auch in Hinsicht darauf verdient diese Abh., so wie die oben erwähnte von GROTHUSS nachgesehen zu werden.

4 S. 27.

5 AEPINUS hat schon ähnliche Beobachtungen (Comment. Petrop. X. 281.) und noch ältere führt DARWIN an, Zoonomie 2te Abth. S. 521. Vergl. Phil. Tr. LXXVI. 313.

6 Oben No. 5.

7 Noch mehrere Beobachtungen hat PUCKINJE angestellt und beschrieben in seinen Beobachtungen über die Physiologie der Sinne. I. B. S. 97.

IV. Bd.

Auges des Wachenden äußert seine Lebendigkeit besonders darin, daß es in seinen Zuständen abzuwechseln verlangt. Das Auge kann und mag nicht in einem durch das Object specificirten Zustande verharren; es ist vielmehr zu einer Art von Opposition genöthigt, die das Extrem dem Extreme, das Mittlere dem Mittlern entgegensetzt, u. s. w.“ Wenn das Auge durch weißes Licht geblendet ist, so geht das Organ, indem es sich im Dunkeln erholt, eine Reihe von Zuständen durch, die einem ähnlichen Wechsel wie die Gefühls-Empfindung, z. B. nach dem Erstarren vor Kälte, unterworfen seyn mögen; aber jeder Wechsel, den die Retina unsers Auges erleidet, bringt eine Empfindung von Licht oder Farben hervor, und die Gesetze dieser Wechsel können von uns nur in dem Wechsel der vor unserm Auge schwebenden Farben erkannt werden. Wenn man dieses überlegt, so wird man, glaube ich, einräumen, daß in jener Lebensthätigkeit des Auges der Grund des Farbenwechsels zu suchen ist, und daß es sehr der Mühe werth wäre, die Gesetze dieses Farbenwechsels noch weiter aufzusuchen. Bei den vorigen Erscheinungen schien es mir, als ob diese dunklern Gesetze der Lebensthätigkeit, die v. GÖTTE auch dort berücksichtigt, nicht so nothwendig zur Erklärung wären, und nur die *eine* Erfahrung, daß dem erst kürzlich operirten Staarkranken die Ergänzungsfarbe des umgebenden Weiß endlich die wirklich vorhandene, vom Weiß umgebene, Farbe überdeckt, scheint nicht ganz so, wie ich dort angab, erklärt werden zu können. Diese Erfahrung nämlich muß in v. GÖTTE'S Sinne so erklärt werden, daß die vom Gelb geblendete Retina durch innere Lebensthätigkeit in einen Zustand versetzt wird, der eben den Sinnen-Eindruck, wie die violette Farbe, hervorbringt; wird dieser Zustand bei einem allzureizbaren Auge so überwiegend, daß der objective Eindruck des gelben Lichtes dagegen nur unbedeutend ist, so glaubt der Beobachter auch an der Stelle nur Violett zu sehen, wo er eigentlich Gelb sehen sollte.

40. Daß man zuweilen die schwarzen Buchstaben roth zu sehen glaubt, erklärt DARWIN¹ daraus, daß die Netzhaut da, wo die schwarzen Buchstaben abgebildet waren, empfindlicher für das rothe Licht ist, welches durch die Augenlieder dringt.

¹ Zoonomie. 2te Abth. S. 533. der deutschen Uebers.

Man sieht nämlich dann die Buchstaben roth, wenn man lieset, indem die Sonne auf die etwas zum Blinzeln zusammengedrückten Augenlieder scheint, also durch diese einen röthlichen Schimmer im Auge hervorbringt¹.

41. Von den *pathologischen* Farben glaube ich hier wenig sagen zu dürfen, da sie mehr in den Art. *Gesichtsfehler* gehören. v. GÖTTE bemerkt, daß ein Druck auf das Auge nicht bloß die bekannte Licht-Erscheinung, sondern auch eine Farben-Erscheinung hervorbringen könne; ferner daß Kranke zuweilen alles in einem besondern rothen Lichte sehen u. dgl. Ueber die besondere Beschaffenheit des Auges, wo es Blau und Roth nicht unterscheidet, wird bei den *Gesichtsfehlern* die Rede seyn.

B.

Farbenbild. S. Farbe No. 8.

F a r b e n c l a v i e r .

Clavecin oculaire. Die schwerlich je ausführbare, ja der Natur der Sache gar nicht einmal recht entsprechend scheinende Idee, daß man durch eine angenehme Folge von Farbenwechseln eine eben solche Einwirkung auf das Gesicht hervorbringen könne, wie die Musik sie dem Gehöre darbietet, hat Veranlassung zu der Ueberlegung gegeben, wie ein Instrument eingerichtet seyn müßte, das diesem Zwecke entspräche. Die Vergleichung, welche NEWTON zwischen den sieben Farben und den Tönen der Tonleiter, zwischen den Räumen, den jene im Farbenbilde einnehmen, und den Intervallen dieser, zu finden glaubte, veranlafste CASTEL, der sonst nicht mit NEWTON in seinen Ansichten übereinstimmte, über ein solches Farbenspiel, das der Harmonie und Melodie in der Musik entsprechen sollte, nachzudenken. Wer sich darüber unterrichten will, mag seine

¹ Aufser der angegebenen Literatur verdient noch erwähnt zu werden BEGUELIN über gefärbte Schatten in *Mém. de Berl.* 1767. p. 27. SCHERFFER über die accidentellen Farben in *J. d. Ph.* XVI. 175. und 273. mit vielen Beobachtungen und Hypothesen ohne bestimmte Erklärung. PIETRO PETRINI's gehaltvolle Abhandlung in *Mem. di Mat. e di Fis. della Soc. Ital.* XIII. 11. u. a.

Schrift: Clavecin oculaire, und DE MAIRAN's Einwürfe dagegen¹ nachlesen. B.

Farben-Dreieck. S. Farbe No. 20.

Farbenkreisel. S. Farbenspindel.

Farbenkugel. S. Farbe No. 20.

F a r b e n r i n g e .

annuli colorati; anneaux colorés; *coloured Rings*. Farbensäume; *fimbriae coloratae*; bandes colorées; *coloured Fringes*. Die in den Artikeln *Anwendungen*, *Farben* No. 22. 23. 26. *Interferenz*, *Inflexion*, *Polarisirung des Lichts* vorkommenden Fälle, wo sich Farbenringe und Farbensäume zeigen, will ich hier nicht wiederholen, sondern nur einige, wohl noch nicht ganz erklärte, Phänomene nachtragen, und auch bei diesen nur kurz verweilen.

NEWTON beobachtete, als er das Licht im finstern Zimmer auf einen gläsernen Hohlspiegel, dessen convexe Seite belegt war, fallen liefs, dafs sich auf der weissen Ebene die im Centrum des an beiden Seiten concentrisch geschliffenen Kugelspiegels senkrecht auf den Lichtstrahl aufgestellt war, aber diesen durch eine im Centro gelassene Oeffnung durchliefs, Farbenringe um diese Oeffnung bildeten. Die Farbenringe zeigten die Farben in der Ordnung, wie die Ringe bei durchgelassenem Lichte zwischen zwei Convexgläsern sich zeigen, nämlich Weiss in der Mitte mit einem dunklern Raume umgeben, an den sich Violett und Indigblau anschlofs; dann folgte Blau, von einem weifslichen Ringe umgeben; dann grünliches Gelb, reines Gelb, Roth, das in Violett überging. Liefs man nur einfarbiges Licht durch die mit dem Centro der Kugel zusammenfallende Oeffnung auffallen, so fanden sich die Halbmesser der nun dargestellten einfarbigen Kreise den Quadratwurzeln von 1, 2, 3, 4 proportional. Ein metallener Hohlspiegel zeigte diese Ringe nicht, und dieses sowohl, als andere Versuche, zeigte, dafs die Dicke des Glases dabei in Betrachtung komme.

NEWTON stellte bei einer andern Reihe von Beobachtungen

¹ Mém. de l'Ac. de Par. 1737. Vergl. Heydenreich System der Aesthetik. Leipz. 1790. 8. S. 224.

den Spiegel so, daß der Lichtstrahl nicht zu der Oeffnung selbst reflectirt ward, also die Oeffnung nicht mehr im Centro der Spiegelfläche lag; dann erhielt man auf der weissen, noch immer durch des Spiegels Centrum gelegten Ebene ein helles reflectirtes Bild; die Ringe aber umgaben wieder das Centrum der Kugel und lagen eben deshalb so, daß ihr Mittelpunkt mitten zwischen der Oeffnung und dem Centrum des durch gewöhnliche Spiegelung dargestellten Bildes lag. NEWTON brachte auch diese Erscheinung unter die Theorie der *Anwendungen* und BIOT, welcher diese und ähnliche Erscheinungen noch mit mehr Sorgfalt berechnet, ist vollkommen seiner Meinung¹, für welche er in einer genauen Berechnung, die mit den Versuchen übereinstimmt, allerdings wichtige Gründe aufstellt. Von der Richtigkeit der Versuche hat BIOT sich in Verbindung mit POUILLET und DEFLERS überzeugt; er hat auch noch mehrere neue Versuche hinzugefügt, die ich hier übergehe. HERSCHEL glaubt zwar, den ganzen Erfolg dieser Versuche der Beugung des Lichts zuschreiben zu dürfen, weil er auch bei einem metallenen Hohlspiegel eben solche Ringe erhielt, wenn der Raum vor dem Spiegel mit feinem Staube erfüllt wurde, aber diese Erklärung scheint doch nicht ausreichend².

2. Eine andere Reihe von Versuchen über Farbenringe ist die von HERSCHEL, welche sich nämlich an die Wiederholung der Versuche NEWTON's über die Farbenringe zwischen convexen Gläsern anschließt. HERSCHEL³ stellte mehr als eine Folge von Ringen zugleich dar. Die zweite, schwer sichtbar zu machende, Reihe von Ringen zeigte sich, wenn man auf gut polirtes Spiegelglas eine doppelt convexe Linse von 20 Zoll Brennweite legte. Die zweite Reihe von Ringen hatte einen weissen Mittelpunkt, wenn er bei der ersten schwarz war, und in jedem andern Falle zeigte das Centrum der einen Reihe die Ergänzungsfarbe zum Centrum des andern, und eben dieses galt für die Ringe gleicher Ordnung in den verschiedenen Reihen. Der Gang der Lichtstrahlen, durch welche diese Ringe sichtbar werden, ist folgender: Wenn ein Strahl ab bei b den Berüh-

Fig.
23.

¹ Newtoni optice Liber 2. Pars 4. und Biot Tr. de Phys. Tome 4. chap. 7.

² Philos. Transact. for 1807. p. 231.

³ Phil. Tr. 1807. p. 188. 201.

zungspunct der Linse erreicht, so wird er theils zurückgeworfen, theils nach *b d* durchgelassen; aber auch dieser durchgelassene Theil erleidet in *d* eine wenigstens theilweise Reflexion nach *e*, und so erhellet, daß es eigentlich die Strahlen sind, die nach *NEWTON*'s Ausdruck sich in *b* in einer Anwandlung leichteren Durchganges befanden, die dem Auge in *e* sichtbar werden. Aber während das Auge so vermittelt des Strahls *b c* die reflectirte, vermittelt des Strahls *d e* die durch die dünne Luftschicht bei *b* durchgegangene Farbe erhält, kann man eine plötzliche Verwechselung beider Farben hervorbringen. Bringt man nämlich auf *b* einen Schatten, so gelangt nun ein anderer Strahl *f g h* zum Auge, und da dieser die bei *i* durch eine schon dicke Luftschicht gehenden, dort also unverändert bleibenden, bei *b* aber vermöge leichteren Durchganges zum Auge kommenden Strahlen enthält, so sieht das Auge *h* jetzt an eben dem Orte die Ergänzungsfarben zu denjenigen, die es noch eben vorhin dort sah, und auf ähnliche Weise bringt der Strahl *f g b k l* offenbar jetzt die in *b* zurückgeworfenen Strahlen zum Auge.

HERSCHEL giebt Mittel an, um noch mehrere Reihen von Ringen zu sehen, und zeigt, welchen Weg die Strahlen nehmen. Statt der Ringe erscheinen parallele Streifen, wenn man Glaszylinder auf eine Ebene legt, dagegen erscheinen elliptische Ringe, wenn man cylindrische Glasflächen mit sphärischen in Berührung bringt¹. Die Gesetze, nach welchen diese Ringe entstehen, lassen sich nach diesen Andeutungen leicht übersehen; die letzten Gründe aber zu erklären, auf welche *HERSCHEL* sie zurückführt, muß ich dem Artikel *Prisma* vorbehalten, wo ohnehin nothwendig von den farbigen Bogen die Rede seyn muß, an welche, nach *HERSCHEL*'s Ansicht, die ganze Erscheinung sich anschließt.

3. Verschieden von diesen Reihenfolgen von Ringen, obgleich unter sehr ähnlichen Umständen entstehend, sind die von *KNOX* beobachteten farbigen Ringe und Streifen², von welchen ich nur so viel als nöthig ist, um die Aufmerksamkeit auf sie zu lenken, hier anführen will. *KNOX* wiederholte *HERSCHEL*'s Versuche und indem er sich eines untern Glases bediente, welches zur Darstellung der zweiten Reihenfolge von Ringen, die

¹ Phil. Tr. 1809. p. 261.

² Ebend. 1815. 161.

nämlich durch durchgelassene Strahlen sichtbar werden, nicht geeignet war, erhielt er blofs mehrere durch reflectirte Strahlen gebildete Ringe, deren Entstehung die Figur deutlich macht, wenn man sich die Strahlen des ersten Ringes durch $abcd$, des zweiten Ringes durch $abcef$ zum Auge gelangend denkt. Hier lagen also zwei Reihenfolgen von Ringen so neben einander, dafs sie sich, weil ihre Mittelpuncte nicht zusammenfielen, einander schneiden mußten, und durch diese Durchschnittspuncte liefen parallele Farbenstreifen, welche senkrecht auf die zwischen beiden Mittelpuncten gezogene Linie waren. Diese Mittelpuncte selbst bildeten die Grenzen dieser Farbenstreifen der Breite nach, während ihre Länge nur durch die Ausdehnung der Gläser begrenzt wurde. Die farbigen Streifen waren so geordnet, dafs da, wo zwei gleichfarbige Kreise derselben Ordnung sich berührten, der Mittelstreif von eben dieser Farbe sich zeigte, und von da an gerechnet nach beiden Seiten zuerst die mehr brechbaren Farben, daran wieder Roth mit der ganzen Farbenfolge u. s. w. so oft erschien, als es die bis zum andern Centrum reichende Zahl von Ringen forderte.

In andern Fällen, wo jene zwei Reihenfolgen von Ringen nicht einander gleich waren, bildeten sich statt der eben beschriebenen geraden Streifen kreisförmige; aber die Erscheinungen sind zu mannigfaltig, um sie hier weiter zu beschreiben.

4. Noch auf eine andere Weise sah BREWSTER Farbenstreifen entstehen, als er die Zurückwerfung des Lichtes von Parallelgläsern, die wenig gegen einander geneigt waren, beobachtete. Brewster giebt davon folgende Beschreibung¹. Um die Erscheinung am besten zu beobachten, möge das Licht eines erleuchteten Kreises, der unter 1 bis 2 Grad Sehewinkel erscheint, beinahe senkrecht auf zwei Platten von Gläsern mit parallelen Oberflächen fallen, die 0,1 Zoll von einander entfernt sind. Man lasse eine der Platten einige Neigung gegen die andere annehmen, bis eines oder mehrere der zurückgeworfenen Bilder deutlich sich darstellen, getrennt von dem durch durchgelassenes Licht hervorgebrachten hellen Bilde, welches das hinter den Platten stehende Auge empfängt. Unter diesen Umständen zeigt sich das reflectirte Bild durchkreuzt von 15 oder 16 schönen parallelen Streifen; die drei Centralstreifen sind

¹ Phil. Tr. of the Society of Edinburgh. Vol. VII. p. 435.

schwärzlich und weißlich, die äußeren sind glänzend grün und roth; die Centralstreifen haben dasselbe Ansehen in Vergleichung gegen die äußeren, wie die innern Ringe bei dünnen Blättchen gegen die äußeren. Wenn man die Glasplatten so dreht, daß ihre Ebene senkrecht gegen den einfallenden Strahl bleibt, so bewegen sich die reflectirten Bilder um das helle Bild, und die Farbenstreifen bleiben immer senkrecht gegen die Linie, welche die Mittelpuncte des hellen und des reflectirten Bildes verbindet. Bei verminderter Neigung wächst die Breite der Farbenstreifen. Fällt das Licht von jenem Gegenstande schief auf die Platten, so sieht man keine Farbenstreifen, wenn die Einfallsbene senkrecht auf die Durchschnittslinie beider Platten ist; ist dagegen die Einfallsbene parallel mit dieser Durchschnittslinie, so zeigen sich die Bilder heller und die Farbenstreifen lebhafter, wenn der Strahl schief auffällt.

BREWSTER beschreibt die Phänomene noch umständlicher, und bemerkt, daß man die Farbenstreifen an den Bildern bemerkt, die das Auge durch Strahlen sieht, welche zwei Zurückwerfungen erlitten haben. Zugleich rühmt er diese Farbenerscheinungen als zu den schönsten, die man sehen kann, gehörend, und glaubt, daß sie sich auf die Theorie der Anwendungen zurückführen lassen. Er theilt mehrere Gesetze, die sich aus seinen Beobachtungen ergeben, mit, aber läßt die Entwicklung der auf jene Theorie gebauten Erklärung unerörtert.

Alle diese Erscheinungen verdienen noch weiter untersucht zu werden. B.

F a r b e n s p i n d e l.

Es ist oben im Artikel *Farbe* No. 20. erwähnt, daß man vielfach versucht hat, weißes Licht aus einer Mischung derjenigen Farben darzustellen, in welche jenes durch das Prisma zerlegt zu werden pflegt, und daß man auf gleiche Weise die sogenannten zusammengesetzten Farben z. B. Grün und Violett, jenes aus Blau und Gelb, dieses aus Roth und Blau, erzeugen kann. Nicht minder ist zugleich nachgewiesen, daß die Farbstoffe, wodurch man dieses bewerkstelligt, nicht alles Licht reflectiren, überhaupt aber wegen der Unvollkommenheit ihrer Tingirung das reine prismatische Licht nicht ersetzen können,

weswegen insbesondere das erzeugte Weiß nie rein, sondern allezeit schmutzig, dunkel und eigentlich grau seyn muß. Diesemnach werden Mischungen von pulverförmigen Pigmenten nie das Verlangte vollständig leisten, und die Instrumente, womit man solche Versuche meistens anzustellen pflegte, bleiben stets mangelhaft, und sind daher auch für die physikalischen Apparate von einem nur untergeordneten Werthe. Inzwischen mag wegen ihres bisher behaupteten Ansehens hier eine kurze Beschreibung derselben Platz finden.

Man bedient sich zu diesen Versuchen hauptsächlich der *Farbenkreisel* und der *Farbenspindeln*, welche beide ihrem Wesen nach gleichartig, bloß in der Construction etwas abweichen, übrigens ganz gleiche Versuche gestatten. Beide hat man schon lange gekannt, indess kann ich nicht angeben, wer der erste Erfinder derselben gewesen seyn mag, jedoch erzählt MUSSCHENBROEK¹, daß er sie verfertigt und Versuche damit angestellt habe, ohne eine ältere Autorität anzugeben. Vermuthlich sind sie aus diesen von andern Physikern entnommen, und zuletzt am ausführlichsten beschrieben, die Kreisel durch E. G. FISCHER², die Spindeln durch LÜDICKE³, denen ich im Wesentlichen folge.

Der *Farbenkreisel* ist ein gemeiner Kreisel von der Art, wie ihn die Kinder als Spielwerk gebrauchen. Die runde Scheibe AB, aus hartem Holze gedrehet, ist auf die gleichfalls aus hartem Holze (am besten Buxbaum) verfertigte Spindel CD gesteckt, welche letztere bei EF einen unten flachen Wulst hat, um die mit den erforderlichen Pigmenten übergezogenen Papierscheiben darunter zu befestigen. Wie diese Scheiben aus feinem, weißen und glattem, aber zugleich die Farben gut aufsaugendem Papiere gemacht seyn müssen, ergiebt sich zwar von selbst, indess versinnlicht die Zeichnung, daß sie, in der Mitte mit einem Loche zum Durchstecken der Spindel versehen, entweder bloß auf dem äußeren Ringe oder auf den ganzen Sektoren diejenigen Farben haben müssen, womit man die Versuche anstellen will. Man kann ferner die einzelnen Sektoren auf die erforderliche Weise mit den gehörigen Pigmenten

¹ Introd. §. MDCCCXX.

² Lehrbuch der mech. Naturlehre. Berlin 1827. II. 267.

³ G. V. 272. u. XXXIV. 4.

überziehen, und deren so viele, als zur Erzeugung der gewünschten zusammengesetzten Farben erforderlich sind, neben einander legen, durch den Wulst der Spindel an die Scheibe festdrücken, und den Kreisel durch Drehung des Stieles in schnelle Rotation bringen.

Weil die Drehung der Kreisel aus freier Hand minder sicher ist, und die Rotation kürzere Zeit dauert, so sind in dieser Hinsicht die nach LÜDICKE'S Angabe construirten Spindeln vorzuziehen. Aeltere Apparate dieser Art gleichen den Schwungtischen oder Centralmaschinen, und bestehen aus einer horizontal liegenden Scheibe, mit einer in einer Rinne derselben befindlichen Schnur ohne Ende, welche um eine andere, gleichfalls horizontale, Rolle geschlungen diese in eine schnelle Rotation versetzt, wenn die erste Scheibe mittelst eines Würfels oder eines Knopfes gedreht wird. Ueber jener Rolle befindet sich eine mit ihr parallele Scheibe, und auf dieser liegen die gefärbten Scheiben in ihrer Mitte durch eine Schraube festgehalten.

Die nach LÜDICKE'S Angabe von mir etwas abgeänderte Farbenspindel besteht aus einem unten mit Tuch überzogenen Fig. 28. Fußklotze ab von etwa 4 Par. Z. Durchmesser, und hieraus lassen sich die andern Dimensionen leicht entnehmen. Auf diesem Fuße sind die beiden messingnen Bügel c und d mittelst Schrauben befestigt, welche oben einen messingnen, mit einer Mutterschraube versehenen, Ring ef tragen, worin das Ocularrohr hoh von einer für die Gesichtswite gehörigen Höhe geschraubt ist. Letzteres besteht aus einem bloßen, inwendig geschwärzten Rohre, welches unten der Schraube wegen mit einer messingnen Fassung versehen ist, und auch oben bei o gleichfalls eine solche haben kann. Die untere Schraube dient dazu, die Glasscheibe aa auf dem unter ihr liegenden horizontalen Ringe festzuhalten. Diese planę, möglichst weiße und durchsichtige Glasscheibe ist ganz mit schwarzer Tusche dick überzogen, und hat bloß einen durchsichtigen Ring, welchen man am besten erhält, wenn man sie mit stark geschwärztem Papiere überklebt, und bloß den durchsichtigen Ring von 1,5 bis 2 oder 2,5 Lin. Breite unbedeckt läßt. Auf diesem Papiere läßt sich dann leicht mit etwas Kitt mittelst dünnen Leders und venetianischen Terpentin das aus der Zeichnung kenntliche eiserne Scheibchen mit einer kleinen Vertiefung befestigen,

in welcher das obere Ende der stählernen Spindel $\epsilon\epsilon'$ mit der messingnen Scheibe $\gamma\gamma$ läuft. Das untere Ende ϵ' dieser Spindel ist etwas dicker, läuft in einer Vertiefung der metallenen Schraube g , welche von unten mit einem Schlüssel höher geschoben werden kann, um einen schlotternden Gang zu vermeiden, ohne zu stark gegen die Glasscheibe $\alpha\alpha$ geprefst zu werden und diese zu zersprengen. Endlich trägt die Scheibe $\gamma\gamma$ die mit den gehörigen Pigmenten gefärbten Scheiben von Papier, welche durch einen genau schließenden Ring $\delta\delta$ festgehalten werden; der untere Theil der Spindel ϵ' aber ist mit einem kleinen Stiften versehen, an welchem eine feine seidene Schnur festgehakt und mehrmals um die Spindel geschlungen wird, so daß diese nebst ihrer Scheibe durch ein etwas starkes Anziehen der Schnur in eine unglaublich schnelle und, wegen des größeren Gewichtes der Scheibe, lange anhaltende Drehung versetzt wird, während deren Dauer das Auge bei o die aus der Verbindung der verschiedenen Farben neu entstehende beobachten kann.

Welche Versuche mit diesen beschriebenen Apparaten angestellt werden können, würde überflüssig seyn hier ausführlich zu erzählen, indem es aus demjenigen von selbst folgt, was oben über die Farben gesagt ist. Im Allgemeinen will ich daher nur bemerken, daß die eigentliche optische Farbentheorie durch dieselben weder begründet noch erweitert werden kann, weil es kein Pigment giebt, welches die reinen prismatischen Farben, wie man sie genau genommen nur vermittelst eines *Fraunhoferschen Prisma's* von Flintglas erhält, darzustellen vermöchte, abgerechnet daß das Auge oft nur durch den Gegensatz mit andern Farben über die eigentliche Beschaffenheit einer Farbe genau zu urtheilen im Stande ist, und in diesem Urtheile nicht selten durch größere oder geringere Intensität des farbigen Lichtes getäuscht wird. Wenn also E. G. FISCHER¹ glaubt, daß durch diese Versuche die Lehre von den drei Grundfarben Gelb, Roth, Blau und von den drei gemischten, Grün, Orange, Violett bewiesen werde, weil diese drei in gleichen Sektoren auf der Farbenspindel Weiß geben, so wird dieses schon dadurch widerlegt, daß eine physikalische Wahrheit nur durch genaue Versuche, keineswegs aber durch

1 S. a. a. O.

mangelhafte bewiesen werden kann. Durch die Vereinigung aller sieben Farben, eben wie durch Vereinigung von je drei der eben genannten, desgleichen von je zwei complementären, wenn man sie auf die Sectoren der Farbenspindel aufträgt und durch schnelle Drehung der letzteren ihren Lichteindruck auf das beobachtende Auge vermischt, kann zwar wohl ein dem weissen Lichte ähnlicher Eindruck hervorgebracht werden, allein die Farbe wird allezeit unrein, schmutzig und grau seyn, so das sich kein bestimmtes Urtheil auf solche Versuche bauen läßt. Eben so geben Blau und Gelb zwar ein Grün, Roth und Blau ein Violett, allein beide auf diese Weise erhaltene Farben sind von denen des reinen prismatischen Lichtes ausnehmend verschieden. Die Apparate können also nur zur Belustigung und Erläuterung der Farbenlehre gebraucht werden, mit größerm Nutzen aber von dem Farbenkünstler, um zu untersuchen, welchen Eindruck der Anblick von zwei sich vermischenden Pigmenten auf das Auge macht.

Die Wahl der Farben, welche man aufträgt, desgleichen die Helligkeit oder Tiefe, worin sie aufgetragen werden, ist für das bessere Gelingen der Versuche von großer Wichtigkeit, und geschieht am besten von einem geübten und der Sache kundigen Maler. LÜDICKE schlägt für weisses Licht folgende zwölf Farben vor, mit der zugleich in Graden angegebenen Größe der einzelnen gefärbten Sectoren.

- a. Röthlich Violett, 40,5 Grade, aus rothem Carmin mit etwas blauem.
- b. Violett, 38 Grade, aus blauem Carmin mit etwas rothem.
- c. Indigo, 36 Grade, aus blauem Carmin mit etwas wenigem rothen.
- d. Blau, 34 Grade, aus blauem Carmin.
- e. Hellblau, 32 Grade, aus blauem Carmin mit etwas Grün, dünner aufgetragen.
- f. Bläulich-Grün, 30,3 Grade, aus krystallisirtem Grünspan in Essig aufgelöset, mit etwas Weinstein.
- g. Gelblich-Grün, 28,6 Grade, aus der nämlichen Auflösung mit etwas Gummigutte versetzt.
- h. Strohgelb, 27 Grade, aus Gummigutte mit ein wenig Grün.

i. Gelb, 25,5 Grade, aus Gummigutte und sehr wenig rothem Carmin, um dem Gummigutte den grünlichen Schimmer zu nehmen.

k. Orange, 24 Grade, aus Gummigutte mit etwas rothem Carmin.

l. Hochroth, 22,7 Grade, aus rothem Carmin mit etwas Gummigutte.

m. Dunkelroth, 21,4 Grade, aus rothem Carmin.

Eine Wiederholung der Versuche mit den angegebenen Farben hat meine Erwartungen indess nicht befriedigt. M.

Farbenzerstreuung. S. Zerstreuung der Farbenstrahlen, und Anwendungen dieser Lehre im Art. Fernrohr, achromatisches, Linsengläser, achromatische, Prisma, achromatisches.

F e r n r o h r .

Seherohr, Teleskop, Fernglas; *tubus opticus, telescopium, conspicillum, conspicillum tubulatum*; lunette, lunette d'approche; *the telescope*.

1. Unter diesem Namen versteht man eigentlich alle Instrumente, welche entfernte Gegenstände vergrößert, so, als ob sie näher gerückt wären, zeigen; da aber von den Fernröhren, die mit Hülfe eines Hohlspiegels diese Vergrößerung bewirken, im Art. *Spiegelteleskop* die Rede seyn wird, so handle ich hier nur die Theorie der dioptrischen Fernröhre oder Refractoren (*tubes dioptricus*; *lunette dioptrique*; *refracting telescope*) ab.

2. Die Geschichte der ersten Entdeckung der Fernröhre ist ungewiß. Man hat sich sehr bemüht, den ersten Entdecker kennen zu lernen; aber da in neuern Zeiten nichts Erhebliches zu Aufhellung dieser Ungewißheit geschehen ist, so begnüge ich mich, nach PRIESTLEY¹, GEHLER², und andern zuverlässigen Schriftstellern das, was man hierüber weiß, mitzutheilen.

Was MABILLON³ von einem Manuscripte aus dem drei-

1 Geschichte der Optik, übers. v. Klügel. S. 49.

2 In der ältern Ausgabe dieses Wörterbuchs.

3 *Iter germanicum*, welches den 4ten Band der *Veterum analecto-*

zehnten Jahrhundert erzählt, wobei sich ein Bild des Ptolemaeus, wie er die Gestirne durch ein aus mehreren in einander geschobenen Theilen bestehendes Rohr betrachtet, befindet, ist zu unbestimmt, um irgend einen Werth darauf zu legen, da dieses Bild vielleicht ein Rohr ohne Gläser vorstellte. Merkwürdiger ist, was ROGER BACO, der um das Ende des dreizehnten Jahrhunderts lebte¹, sagt: Man könne durchsichtige Körper (*perspicua*) so bilden und ordnen, daß man die Gegenstände unter irgend einem Sehwinkel sähe, daß man aus der größten Ferne die kleinsten Buchstaben erkennen könne. — GEHLER bemerkt indess hierbei, daß hier nicht von wirklich ausgeführten Instrumenten die Rede sey, sondern daß sich neben diesem hingeworfenen Gedanken über einen in späterer Zeit ausgeführten Gegenstand, auch andere eben so hingeworfene Gedanken, in eben der Redeform: man kann, *possumus*, — finden, die ganz unausführbar sind. — Anderswo² sagt eben der BACO, CAESAR habe die brittischen Häfen *tubi ope* betrachtet; aber daß man zu jener Zeit (im dreizehnten Jahrh.) Fernröhre mit Gläsern gehabt habe, ist dennoch höchst zweifelhaft, da ein so merkwürdiger Gegenstand doch wohl irgendwo vollständiger erwähnt wäre.

Auch in PORTA's Schriften³ kommt etwas vor, das auf Fernröhre hindeutet. Er sagt nämlich, durch ein Hohlglas sieht man entfernte Gegenstände deutlich, durch ein erhabenes Glas nahe Gegenstände; weiß man beide gehörig zu verbinden, so wird man sowohl nahe als entfernte Gegenstände größer und

rum [Paris 1685. 4.] ausmacht, p. 46. Dieses iter germ. besonders abgedruckt Hamburgi 1717. enthält die Abbildung dieses Rohrs, und die Stelle ist dort p. 54.

1 Rog. Baconis opus majus. Vgl. Montucla hist. der math. I. 514.

2 In einem von Wood Hist. et Antiquit. univ. Oxoniens. L. 1. p. 136. angeführten Manusc.

3 *Magia naturalis*, s. de miraculis rer. nat. Neap. 1558. Lib. XVII. cap. 10. [Da mein Bemühen, diese Stelle aufzufinden, vergeblich gewesen ist, so bemerke ich, daß nach v. ZACH *Corresp. astronomique* II. 552. die erste Ausgabe von 1558 nur 3 Bücher enthält, die zweite von 1589 hingegen 20 Bücher. In der letztern müßte man also nachschlagen; aber diese habe ich nicht erhalten können, und die Uebersetzung Magdeburg 1617. enthält nur 4 Bücher. Uebrigens gehört das Buch zu den unsinnigsten und albernen, die man sehen kann

deutlich sehen. Er fügt hinzu, er habe damit Freunden, die schlechte Augen hatten, große Dienste geleistet, indem er sie in Stand setzte, deutlich zu sehen. — Was er hier eigentlich meint, ist undeutlich; aber GEHLER bemerkt, daß ein Schriftsteller wie Porta, dem es an Ehrgeiz nicht fehlte, eine so wichtige Entdeckung, wie die des Fernrohrs gewesen wäre, wohl umständlicher und wortreicher würde beschrieben haben. Bekannt ist überdas gar nicht, daß er irgend etwas beobachtet habe, was auf den Gebrauch von Fernröhren schließen liefse.

HIERONYMUS SIRTURUS, ein Mailänder, welcher um etwas Vollständiges über das Fernrohr zu schreiben, mehrere Länder bereisete¹, erzählt, 1609 sey ein Unbekannter, dem Ansehen nach ein Holländer, zu dem Brillenmacher JOH. LIPPERSEIN oder LIPPERSHEIM in Middelburg gekommen und habe sich einige erhabene und hohle Gläser schleifen lassen, und als er diese in Empfang genommen, habe er ein erhabenes und ein hohles bald näher, bald weiter von einander gehalten. Dieses habe sich LIPPERSHEIM gemerkt, habe aus einer solchen Verbindung zweier Gläser ein Fernrohr gemacht, und es dem Prinzen MORITZ v. NASSAU gezeigt, eben dieser Schriftsteller versichert, in Spanien einen Baumeister ROGETUS angetroffen zu haben, der die Kunst, Fernröhre zu machen, schon lange getrieben und ein Buch darüber geschrieben habe.

DESCARTES, der später über diese Erfindung redet², schreibt die Entdeckung dem Zufall zu. Ein gewisser METIUS, ein Sohn des als Mathematiker berühmten ADRIAN METIUS, habe Vergnügen an Verfertigung von Spiegeln und Brenngläsern gefunden, und versucht, durch ein hohles und ein erhabenes Glas zugleich zu sehen; er habe diese in einer Röhre so angebracht, daß daraus das erste Fernrohr entstanden sey.

PETER BORELLUS³ schreibt diese Entdeckung mit vieler Wahrscheinlichkeit dem Brillenmacher ZACHARIAS JANSEN in MIDDELBURG zu. Er theilt gerichtliche Aussagen mit, nach

¹ Telescopium. (Francof. 1618.) p. 24.

² In der Dioptrica, welche 1637 erschien, sagte er, vor etwa 30 Jahren sey durch Zufall das Fernrohr entdeckt. Cap. 1.

³ De vero telescopii inventore. Hagae Com. 1655. vorzüglich Cap. 12. u. 14. Vergl. J. d. Ph. XCIII. 150.

welchen der Sohn dieses Jansen bezeugt, sein Vater habe schon 1590 Fernröhre verfertigt, und eines dem Prinzen MORITZ überreicht, das andere dem Erzherzoge ALBRECHT. Drei andere Einwohner von Middelburg geben an, der eine, dafs schon vor 1600, der andere, dafs vor 1605, der dritte vor 1610 in Middelburg Fernröhre von einem Brillenmacher HANS LAPREY verfertigt wären. Diese Zeugnisse begleitet BORELLUS mit einem Briefe des Holländischen Gesandten WILR. BOREEL, der den ZACH. JANSEN und dessen Vater gekannt zu haben versichert. Er versichert, diese Künstler hätten dem Erzherzoge ALBRECHT ein zusammengesetztes Mikroskop überreicht, und 1610 das Fernrohr erfunden; ein Fernrohr sey dem Prinzen MORITZ übergeben, und dieser habe ein im Kriege so nützlich Instrument nicht wollen bekannt werden lassen. Dennoch sey die Sache bekannt geworden und ein Unbekannter sey, aus Irrthum zu dem JOH. LAPREY (der hiernach mit dem LIPPERSHEIM einerlei zu seyn schiene,) gekommen, um sich eines machen zu lassen; dieser habe aus dem, was der Unbekannte ihm sagte, die Einrichtung errathen, die Fernröhre nachgemacht und öffentlich verkauft. ADRIAN METIUS und DREBBEL hätten von JANSEN Fernröhre gekauft. Er bemerkt endlich auch noch, es sey nicht Zufall, sondern geschickte Zusammenordnung gewesen. Diese Erzählung hat viel Wahrscheinliches und auch HUYGENS¹ versichert zu wissen, dafs schon vor METIUS um 1609 ein Künstler in Middelburg Fernröhre gemacht habe.

WEIDLER beweist, dafs schon 1608 Fernröhre aus Holland gekommen sind². SIMON MARIUS nämlich erhielt von einem Herrn JOH. PHIL. FUCHS von Bimbach die Nachricht, dafs er ein solches, von einem Holländer zu sehr hohem Preise ausgebotenes Instrument auf der Herbstmesse 1608 zu Frankfurt am Mayn gesehen habe. SIMON MARIUS probirte nun sogleich selbst ein Fernrohr zu machen, was aber, da die Nürnberger Künstler keine Gläser von hinreichender Brennweite liefern konnten, nicht gelang. Dennoch war Marius schon im November 1609 so glücklich, durch ein aus Holland erhaltenes Fernrohr die Jupiterstrabanten zu entdecken³.

1 Opusc. posth. Lugd. Bat. 1703. p. 136.

2 Historia astronomia Cap. 15. §. 12.

3 Als bemerkenswerth führt v. ZACH an, dafs man schon 1609

GALILAEI erhielt im April oder Mai 1609 in Venedig Nachricht von einem solchen in Holland verfertigten Instrumente, welches entfernte Gegenstände so zeige, als ob sie nahe wären. Er reisete sogleich nach Padua zurück, und errieth schon in der folgenden Nacht die Einrichtung; er machte sich aus einem Planconvex- und einem Planconcav - Glase ein Fernrohr, und da dieses den erwarteten Erfolg zeigte, so machte er sogleich noch ein besseres, das achtmal vergrößerte. Dieses zeigte er gleich nachher in Venedig den dortigen gelehrten und angesehenen Männern, und machte nun bald mit Hilfe desselben die Entdeckungen am Himmel, die hier nicht weiter hergehören¹.

Dals ein Neapolitaner FONTANA schon vor 1608 die Fernröhre gekannt zu haben behauptet, muß wenigstens der Vollständigkeit wegen erwähnt werden².

3. Die weiteren Verbesserungen der Fernröhre will ich nur kurz erzählen. KEPLER gab zuerst eine theoretische Entwicklung der Gründe, warum das Fernrohr diese Wirkung zeige, und erfand das *astronomische Fernrohr* aus zwei Convexgläsern³, dessen sich SCHEINER zuerst wirklich bedient zu haben scheint⁴.

Schon KEPLER hatte bemerkt, dals man das umgekehrt erscheinende Bild im astronomischen Fernrohre durch ein zweites Augenglas wieder aufrecht darstellen könne; aber diese minder angemessene Einrichtung ist nicht benutzt, sondern die des ANT. MAR. DE RHEITA⁵ fand mit Recht mehr Beifall und gab das noch jetzt gebräuchliche Erdfernrohr. Man brachte auch noch mehr als drei Augengläser an, und erreichte dadurch einzelne Vortheile; unter andern waren DOLLONDS Fernröhre mit sechs Gläsern vor der Erfindung der achromatischen Fernröhre sehr beliebt⁶.

die Fernröhre in London so zahlreich hatte, dals von einer Auswahl die Rede seyn könnte. de Zach Correspondance astronomique. VII. 122.

1 Nuntius sidereus. Florent. 1610. p. 4—11.

2 Novae terrestrium et coelestium observationes. Neap. 1646.

3 Dioptrica. Aug. Vindel. 1611.

4 Rosa ursina. Bracciani 1630, p. 130.

5 Oculus Enoch et Eliae. Anty. 1665.

6 Phil. Tr. Vol. 48. p. 103.

Das Hauptbestreben der Optiker ging nun darauf hin, durch Verlängerung der Fernröhre eine sehr starke Vergrößerung bei hinreichendem Lichte und hinreichender Deutlichkeit zu erhalten. EUSTACHIUS DE DIVINIS in Rom, CAMPANI in Bologna, HUYGENS und AUZOUT brachten Gläser von ungemein großen Brennweiten zu Stande, zum Beispiel die von CASSINI benutzten, deren Brennweiten 100 und 136 Fufs waren, und durch welche dieser die kleinern Saturnsmonde entdeckte, ferner die von 123 Fufs Brennweite, durch welches POUND und BRADLEY beobachteten; ja AUZOUT hat ein Glas von 600 Fufs Brennweite verfertigt, das aber aus Mangel bequemer Aufstellung nicht gebraucht werden konnte¹.

Die große Schwierigkeit, diese Gläser zum Gebrauche in hinreichend lange Röhren zu fassen, worüber man sich bei HEVEL und BIANCHINI² belehren kann, gab Veranlassung zu Ferngläsern ohne Röhren oder *Luftferngläsern* (telescope aërien). HUYGENS gab nämlich Mittel an³ ohne so lange Röhren, sich der Gläser von so großer Brennweite zu bedienen, die ungefähr in Folgendem bestehen. Er befestigte das Glas, welches als Objectivglas dienen sollte, in einem kurzen Rohre, das vermittelst einer Nufs nach allen Seiten beweglich war. Dieses Rohr wurde an einer sehr hohen Stange, an dem Giebel eines Hauses oder einem andern hohen Gegenstande befestigt, und der untenstehende Beobachter konnte ihm vermittelst einer Schnur alle erforderliche Richtungen geben; das Augenglas konnte, unten angebracht, eben so in die erforderlichen Stellungen und Richtungen gebracht werden, und so konnten Gläser von ganz ungemein großen Brennweiten, wenigstens bei Nacht, wo das Auge durch fremde Lichtstrahlen, welche sonst durch das Rohr abgehalten werden, nicht gehindert wird, ge-

1 HARTSOEKER giebt eine Methode an, solche Gläser zu verfertigen. Essai de Dioptrique. Paris 1694. und auch HUYGENS gab Anleitung hierzu: Comm. de vitris figurandis in s. Opp. posth. Lugd. Bat. 1703.

2 Hevelii mach. coelestis Tom. II. Bianchini de Hesperii et Phosphori novis phaenom. Romae 1728.

3 Astroscoopia compendiaria, tubi optici molimine liberata. Hagae 1684. und SMITH Lehrbegriff der Optik, übersetzt von Kästner. Altenburg 1755. S. 329. Taf. XIX. auch PRIESTLEY Geschichte der Optik. S. 159 und MONTUCLA II. 509.

braucht werden. POUND und BRADLEY bedienten sich wirklich einer solchen unter HUYGENS' eigener Aufsicht ausgeführten Vorrichtung und POUND sah durch das so angeordnete Fernrohr die Saturnsmonde¹.

Unterdess beschäftigten sich CARTESIUS und HUYGENS mit Vervollkommung der Theorie. CARTESIUS² suchte Mittel, um durch hyperbolische und elliptische Gestalt der Oberflächen der Gläser diejenigen Fehler zu vermeiden, welche als Abweichung wegen der Kugelgestalt bei den Linsengläsern statt finden.

HUYGENS³ dagegen vervollkommnete durch Untersuchungen, welche die Anordnung der Gläser betrafen, die Theorie des Fernrohrs. Aber kurz nachher zeigten NEWTON, daß der größere Nachtheil in Hinsicht auf die Deutlichkeit der Bilder in der Farbenzerstreuung liege, und daß diesem durch veränderte Form der Gläser nicht abzuhelfen sey. NEWTON empfahl daher die Spiegelteleskope, weil er eine Verbesserung der dioptrischen Fernröhre in Hinsicht auf die Farbenzerstreuung für unmöglich hielt⁴.

In der folgenden Zeit machte die Kunst, Fernröhre zu verfertigen, keine Fortschritte, bis EULER 1747 die Behauptung aufstellte⁵, eine aus mehreren Gläsern zusammengesetzte Linse könne wohl die Farbenzerstreuung aufheben. Diese Behauptung schien indels den Optikern bloß hypothetisch, DOLLOND sowohl als CLAIRAUT erklärten sich, auf NEWTON'S Versuche gestützt, gegen sie; bis 1754 endlich KLINGENSTIERNA'S Untersuchung in NEWTON'S Schlüssen über die bei allen Körpern nach einerlei Gesetzen erfolgende Farbenzerstreuung Unrichtigkeiten aufdeckte⁶. Dieses veranlafte JOHN DOLLOND, einen Versuch

1 Aehnliche Vorschläge von BIANCHINI, und DE LA HIRE erwähnt Smith. S. 335.

2 Dioptrice Cap. 8. 9.

3 Opusc. posth. Lugd. Bat. 1703.

4 Optice Lib. I. Pars I. Propos. 7.

5 Mém. de l'ac. de Berlin. pour 1747. EULER gründete zuerst seine Behauptung auf die Brechung im Auge, indem er glaubte, im Auge werde die Farbenzerstreuung ganz aufgehoben. Obgleich nun dieses, wie unter andern FRAUNHOFER (G. LVI. 304.) zeigt, nicht streng richtig ist, so hat dennoch EULER sich hierdurch auf den rechten Weg leiten lassen.

6 Schwed. Abh. XVI. 300.

mit einem Wasserprisma und einem Glasprisma anzustellen, wo er den ausfahrenden Strahl, obgleich er mit dem einfallenden parallel war, dennoch farbig fand, und dies bewog ihn nun, Prismen aus verschiedenen Glasarten so zusammen zu ordnen, daß sie keine Farbenzerstreuung bewirkten, obgleich sie eine Brechung des Lichtes hervorbrachten, und endlich brachte er achromatische Linsen zu Stande¹. CLAIRAUT und D'ALEMBERT² und KLINGENSTIERNA³ suchten die Theorie zu vervollkommen, konnten aber doch keine den Künstlern nützliche Anleitung geben, sondern die achromatischen Fernröhre der Engländer behielten ihren Vorzug.

EULER konnte sich jetzt von der Richtigkeit der Dollond'schen Versuche nicht überzeugen, da seine Theorie der Farbenzerstreuung etwas anderes zu ergeben schien, und erst als CLAIRAUT ihn überzeugte, nicht Zufall, nicht glücklich ausgefallene Gestalt der Gläser, sondern eine den Versuchen gemäß angeordnete Form sey der Grund der Vorzüglichkeit der Dollond'schen Telescope, so gab er seine Theorie auf, und fing nun an, die Dollond'sche Erfindung durch eigene Untersuchungen aufzuklären⁴; und hieran schlossen sich die Bemühungen von FUSS⁵ und KLÜGEL⁶. Diese theoretischen Untersuchungen konnten indess nicht bewirken, daß die Fernröhre einen noch größern Grad von Vollkommenheit erreichten, vielmehr wurden nach PETER DOLLOND, der seinen Vater JOHN DOLLOD noch übertraf, selbst in England die achromatischen Fernröhre schlechter, weil das dazu erforderliche Flintglas in schlechterer Qualität verfertigt wurde.

Erst durch FRAUNHOFER, der eine Methode, die Glasarten vollkommen rein darzustellen, erfand, und durch Theorie und mechanisches Talent geleitet, es möglich machte, dioptrische Fernröhre von viel größerer Oeffnung der Objectivlinse zu ver-

1 Phil. Tr. L. 733.

2 Mém. de l'ac. de Paris 1756. 1757. 1764. 1765. 1767.

3 Tentamen de corrigendis aberrationibus luminis in lentibus refracti etc. Petrop. 1762.

4 Vorzüglich in L. Euleri Dioptrica. Petrop. et Lips. 1771.

5 Fuss Anweisung Fernröhre von großer Vollkommenheit zu verfertigen. Leipz. 1778.

6 Klügels analyt. Dioptrik. Leipz. 1778.

fertigen, ist aufs Neue gezeigt, daß die Kunst, dioptrische Fernröhre zu verfertigen, noch nicht ihren höchsten Gipfel erreicht hat, und daß wir, wenn ein gleich talentvoller Künstler seine durch einen zu frühen Tod unterbrochenen Bemühungen weiter fortsetzt, noch stärkere Fernröhre erhalten können, als wir durch ihn besitzen, wenn gleich diese alles bis dahin geleistete weit übertreffen¹.

Allgemeine Bemerkungen über die Einrichtung des Fernrohrs.

4. Wenn die von einem entfernten Gegenstande ausgehenden Strahlen ein convexes Glas treffen, so werden sie so gebrochen, daß die von einerlei Punkte ausgehenden Strahlen sich wieder in einen Punct vereinigen, und da dieses für jeden Punct gilt, so stellt sich dort, wo jene Vereinigungspuncte liegen, ein Bild des Gegenstandes dar. Dieses Bild betrachtet man durch ein zweites Glas oder durch eine passende Verbindung mehrerer Gläser, die so angeordnet sind, daß der Gegenstand unter einem größern Sehwinkel erscheint, als er sich dem bloßen Auge zeigt. Eine solche Verbindung von Gläsern ist das Fernrohr, dessen Einrichtung im Einzelnen allerdings sehr verschieden seyn kann.

Jenes Glas, welches die Lichtstrahlen von dem Gegenstande empfängt, heißt das Objectivglas (*vitrum objectivum; s. lens objectiva; lentille objective; object-glas*); das Glas, durch welches das Auge das entstandene Bild besieht, heißt das Augenglas Ocularglas (*vitrum oculare s. lens ocularis; lentille oculaire; eye-glas*) und zwar ein *einfaches* Ocular, wenn es nur aus einem Glase besteht, ein *zusammengesetztes*, wenn mehrere Gläser in der Ocularröhre verbunden sind.

Bei jedem Fernrohr kommt die Frage vor, wie stark die Vergrößerung (*amplificatio; le grossissement; the magnifying power*) sey, oder in welchem Verhältnisse der Sehwinkel mit Hülfe des Fernrohrs zu dem Sehwinkel des mit bloßen Augen gesehenen Gegenstandes stehe; wie groß

¹ STRUVE Beschreibung eines großen Refractors von Fraunhofer Dorpat. 1825. und Schumach. astr. Nachr. IV. 17.

das Gesichtsfeld (*campus*; *le champ*; *the field*) oder der Raum ist, den man durch das Fernrohr übersieht; ferner welche *Lichtstärke* das Fernrohr gewährt, oder mit welchem Glanze der Gegenstand im Fernrohr erscheint; endlich welchen Grad der *Deutlichkeit* das Bild des Gegenstandes im Fernrohre besitzt.

Um die *Vergrößerung*, welche durch ein Fernrohr hervorgebracht wird, durch eine Beobachtung kennen zu lernen, dient bei mäßigen Vergrößerungen recht gut eine Beobachtung mit beiden Augen, indem das eine Auge den Gegenstand durch das Fernrohr besieht, während das andere frei auf eben denselben gerichtet ist. Wenn beide Augen gleich gut sehen, so erblickt man dann den vergrößert gesehenen Gegenstand vor dem schwebend, der in seiner natürlichen Größe erscheint, und wenn der Gegenstand ein solcher ist, der gleiche Abtheilungen darbietet, wozu man gewöhnlich die Dachziegel eines Hauses zu empfehlen pflegt, so läßt sich wahrnehmen, wie viele gleiche Abtheilungen des unvergrößert gesehenen Gegenstandes von einer Abtheilung des vergrößert gesehenen verdeckt werden; diese Vergleichung giebt sogleich die Vergrößerung genau genug für Zwecke, die keine sehr strenge Bestimmung fordern, zumal dann, wenn die Vergrößerung nicht über das 20fache, oder 30fache hinausgeht. Zu genauern Bestimmungen führen die im Folgenden angeführten Berechnungen. Das *Feld des Fernrohrs* bestimmt man nach dem Sehewinkel, so daß der Halbmesser des Sehfeldes in Graden und Minuten angegeben die Größe des auf einmal zu übersehenden Raumes ausdrückt. Man findet es bei einem gegebenen Fernrohre am besten durch eine Reihe astronomischer Beobachtungen. Zu diesem Zwecke stellt man das Fernrohr in unveränderlicher Stellung auf, und beobachtet die Zeit, welche irgend ein bekannter Stern gebraucht, um den ganzen Durchmesser des Feldes zu durchlaufen; hat das Instrument ein Fadenkreuz, so kann man bei gut gearbeiteten Instrumenten den Faden als den Durchmesser ansehen und das Fernrohr so stellen, daß der Stern genau an dem Faden durchgeht; sonst aber muß man bei wiederholter Beobachtung den Durchgang so zu erhalten suchen, daß der Stern nicht eine Sehne, sondern den Durchmesser durchläuft. Für jeden bekannten Stern, dessen Declination man kennt, ist bekannt,

welchen Bogen er in gegebener Zeit durchläuft, und so erhält man also unmittelbar die Größe des Feldes in Minuten und Sekunden ausgedrückt, am besten, wenn man bei Beobachtungen verschiedener Sterne ein Mittel aus den Beobachtungen nimmt.

Um die Lichtstärke abzuschätzen, muß man das Maß von Licht, welches das freie Auge von eben dem Gegenstande empfängt, als Einheit voraussetzen. Wenn der Halbmesser der Pupille $= a$ ist, und man durch l die bei jedem bestimmten Gegenstande verschiedene eigenthümliche Lichtstärke bezeichnet, so ist $\pi a^2 l$ der Ausdruck für das gesammte vom Auge aufgefangene Licht. Diese Lichtstärke, welche den gesammten Eindruck auf das Auge bestimmt, kommt allein in Betrachtung da, wo von keiner erheblichen scheinbaren Größe die Rede ist. Dagegen muß man den Grad der Lichtstärke jedes einzelnen Punctes in dem uns erscheinenden Gegenstande, oder den Grad der Erleuchtung jedes einzelnen Punctes in dem auf der Retina dargestellten Bilde betrachten, wenn der Gegenstand eine erhebliche scheinbare Größe hat. Wäre zum Beispiel der gesehene Gegenstand kreisförmig von scheinbarem Halbmesser $= \varphi$, so wäre dieses Bild auf der Retina der Größe $\pi \varphi^2$ proportional, und jene gesammte Lichtmenge über das Bild ausgeheilt, gäbe eine mittlere Helligkeit $= \frac{a^2 l}{\varphi^2}$, als die gesehene Klarheit für jeden Punct des Gegenstandes. Wenn nun ein Fernrohr die Menge des dem Auge zugeführten Lichtes so vergrößert, daß sie $\mu \cdot \pi a^2 l$ wird, statt daß sie für das bloße Auge $= \pi a^2 l$ war, so ist die absolute Lichtstärke des Fernrohrs $= \mu$; aber wenn zugleich der Sehwinkel so vergrößert wird, daß er $\lambda \varphi$ ist, so wird man bei Gegenständen, deren scheinbare Größe in Betrachtung kommt, die gesehene Helligkeit jedes Punctes $= \frac{\mu a^2 l}{\lambda \varphi^2}$ setzen müssen.

HERSCHEL knüpft hieran eine andere Betrachtung¹. Wenn ein entfernter kugelförmiger Weltkörper Licht von bestimmter Intensität besitzt: so ist der Lichteindruck auf unser Auge nicht bloß der Intensität $= i$, sondern auch der scheinbaren Flächengröße $= \pi \varphi^2$ proportional. Aber φ ist der Entfernung $= D$

¹ Philos. Transact. for 1800, und daraus in BOER'S Jahrbuch für 1804. S. 231.

umgekehrt proportional, also, da hier blofs von proportionalen Ausdrücken die Rede ist, die uns zugesandte Lichtstärke $= i \cdot \pi \varphi^2$, oder $= \frac{i}{D^2}$. So können wir also das gesammte von

unserm Auge aufgefangene Licht $= \frac{a^2 \cdot i}{D^2}$ setzen, oder dieses

der Flächengröße der Pupille und der Intensität i direct, dem Quadrate der Entfernung D umgekehrt proportional setzen. Besitzen wir nun ein Fernrohr, das dem Auge die gesammte

Lichtmenge $= \frac{\mu \cdot a^2 \cdot i}{D^2}$ zuführt, und ist durch dieses Fern-

rohr die Empfindung in unserm Auge so, wie sie dem blofsen Auge seyn würde, wenn derselbe Gegenstand sich in der Ent-

fernung $\frac{1}{m} D$ befände, so ist $\frac{\mu \cdot a^2 \cdot i}{D^2} = \frac{a^2 \cdot i}{\left(\frac{1}{m} D\right)^2} = \frac{m^2 a^2 \cdot i}{D^2}$, also

$m = \sqrt{\mu}$. Hiernach ist also $m = \sqrt{\mu}$ die *Raum durchdringende Kraft* (*space penetrating power*) des Fernrohrs, oder ein Fernrohr, das dem Auge μ mal so viel Lichtstrahlen zuführt, als das blofse Auge empfinde, zeigt Gegenstände in der Entfernung $D \cdot \sqrt{\mu}$ mit eben so viel gesammtem Glanze, als sie dem blofsen Auge erschiene, wenn ihre Entfernung $= D$ wäre.

HERSCHEL'S 40fufsiger Telescop bringt über 36500 mal so viel Lichtstrahlen in das Auge, als das blofse Auge von eben dem Gegenstande empfinde, und seine Raum durchdringende Kraft ist daher $= 191$, oder dieses Fernrohr würde den Sirius, wenn er 191 mal so weit hinausgerückt würde, noch eben so glänzend zeigen, als er jetzt dem blofsen Auge erscheint¹.

Die *Deutlichkeit* des Bildes im Fernrohr würde vollkommen seyn, wenn die Gläser oder Spiegel alle von *einem* Punkte ausgehenden Strahlen in *einem* Punkte vereinigten. Dieses geschieht nicht, theils vermöge der Abweichung wegen der Kugelgestalt, theils vermöge der Abweichung wegen der Farbenzerstreuung, die letzte kommt bei vollkommen achromatischen Gläsern und bei Spiegelteleskopen nicht in Betrachtung, bei den nicht achromatischen, dioptrischen Fernröhren aber machte sie

¹ Vergl. unten No. 13.

gerade die Hauptsache aus, und deshalb diene sie zu Begründung der von HUYGENS für die Apertur gegebenen Regeln¹.

5. Die *Axe des Fernrohrs* ist diejenige gerade Linie, in welcher sich die Mittelpunkte aller der Kugelflächen befinden, deren Theile die Oberfläche der convexen oder concaven Gläser sind. Alle diese Mittelpunkte müssen in derselben geraden Linie liegen, wenn das Fernrohr seine Dienste thun soll, und es fallen dann zugleich die Brennpunkte der Gläser, es mögen nun wahre Sammlungspunkte oder Zerstreuungspunkte seyn, in eben die gerade Linie. Ist die Stellung der Gläser dieser Forderung gemäß berichtigt, so heißt das Fernrohr richtig *centriert*. Wie der Weg der Lichtstrahlen durch die Linsengläser bestimmt werden muß, wird in dem Artikel *Linsengläser* umständlich gezeigt; ich werde hier die dort anzugebenden Formeln bloß anführen und ihrem Sinne nach erklären.

Es sey $\frac{n}{m}$ das Brechungsverhältniß für Strahlen, die aus Luft in das Glas der zu betrachtenden Linse übergehen; r und q sind die Halbmesser der beiden Kugeln, denen die beiden Oberflächen des Linsenglases zugehören; b ist die Entfernung des Gegenstandes vom Linsenglase, x die Entfernung des Bildes oder des Sammelpunctes hinter dem Glase, so ist

$$x = \frac{n b r q}{(m - n) b (r + q) - n r q}$$
, wenn die Dicke des Glases als unbedeutend nicht beachtet wird. Diese Formel gilt für alle einfachen Linsengläser, nur muß, da sie für Gläser, die an beiden Seiten convex sind, eingerichtet ist, derjenige Radius r oder q , welcher einer concaven Oberfläche entspricht, als negativ in die Rechnung gebracht werden. Wenn hier x positiv ausfällt, so bedeutet es eine Entfernung des Bildes an der dem Objecte entgegengesetzten Seite; negative Werthe von x zeigen dagegen an, daß die Strahlen an jener Seite des Glases so fortgehen, als ob sie von einem in der Entfernung $= x$ vor dem Glase liegenden Punkte ausgingen. In jenem Falle, der bei Convexgläsern und erheblich entfernten Gegenständen immer statt findet, ist es ein wirklicher *Sammelpunct* der Strahlen, in dem andern Falle, der bei Hohlgläsern eintritt, ist es ein *Zer-*

¹ Vergl. nachher No. 14.

struungspunct, und nur in jenem Falle ist ein wirkliches Bild vorhanden. Wenn der Gegenstand sehr entfernt liegt, so kann b als unendlich groß angesehen werden, und dann geht x in die Brennweite $f = \frac{nr\varrho}{(m-n)(r+\varrho)}$ über und man erhält nun allgemein $x = \frac{bf}{b-f}$. Ich gehe nun zu Betrachtung der einzelnen Einrichtungen der Fernröhre über.

Das Holländische oder Galiläische Fernrohr.

6. Das zuerst in Gebrauch gekommene Fernrohr, welches das holländische Fernrohr (*tubus batavus*; telescope hollandois; *dutch telescope*) oder das Galiläische Fernrohr (*tubus Galilaeanus*; *lunette de Galilée*; *Galileo's telescope*) genannt wird, gewährte die Annehmlichkeit, daß man mit zwei Gläsern nicht nur ein vergrößertes, sondern auch ein aufrechtes Bild des Gegenstandes erhielt. Das Objectivglas war ein convexes Glas von nicht zu kleiner Brennweite, das Ocularglas ein concaves Glas von geringerem Abstände des Zerstreuungspunctes. Um die Wirkung des Instrumentes zu beurtheilen, will ich zuerst Strahlen, die von einem gemein entfernten in der Axe des Fernrohrs liegenden Punkte Fig. 29. A ausgehen, betrachten. Diese fallen, weil sie von einem so entfernten Punkte ausgehen, fast völlig parallel auf, und vereinigen sich in dem Brennpuncte a des Objectivglases. Wir sehen hier diese Vereinigung als vollkommen an, obgleich sie bei sehr großen Linsen das nicht wäre, da hier nur von Linsen, deren Kugeltheile sehr kleine Bogen umfassen, die Rede ist. Eben so würden Strahlen mn , pC , welche geneigt gegen die Axe, unter sich parallel einfallen, sich in b vereinigen, und der Punct b würde bestimmt, wenn man auf dem durch die Mitte C des Glases gehenden Strahle, welcher ungebrochen durchgeht, Cb der Brennweite gleich auftrüge. In ab würde sich nun ein umgekehrtes Bild des Gegenstandes darstellen, wenn nicht das zwischen C und ab aufgestellte Hohlglas die nach a convergirenden oder vielmehr nach den einzelnen Punkten von ab convergirenden Strahlen auffinge. Steht dieses Hohlglas so, daß a sein Zerstreuungspunct ist, so lehrt die

Theorie der Linsengläser, daß die gegen a convergirenden Strahlen, wie uR , Cv , nach dem Durchgange durch das concave Glas parallel werden, und daß also ein fernsichtiges Auge in o den Punct A deutlich sieht. Eben so werden die mit pC parallel einfallenden, nach der Brechung im Objectivglase gegen b convergirenden Strahlen, bei der eben angenommenen Stellung des Oculars, aus diesem unter sich parallel, so wie vb , st , hervorgehen, und das Auge in o wird auch den Punct, von welchem sie ausgehen, und so alle zwischen jenen liegende Puncte deutlich sehen.

7. Das Auge in o sieht aber auch den Gegenstand vergrößert. Wenn pC , AC die Strahlen sind, die von dem obersten und untersten Puncte des Gegenstandes zum Auge kommen, so würde ein Auge in C den Gegenstand unter dem Sehewinkel pCA sehen, und da das Auge in o so wenig weiter entfernt ist, daß dieses in Vergleichung gegen die Entfernung des Gegenstandes nicht in Betrachtung kommen kann, so ist pCA der natürliche Sehewinkel für das Auge in o der durch das Fernrohr vergrößerte Sehewinkel dagegen ist rov , und es läßt sich leicht zeigen, in welchem Verhältnisse dieser größer als pCA ist. Die beiden durch die Mitte des Objectivglases gehenden Strahlen Aa , pb , würden ungebrochen nach a und b gelangen, wenn das Ocular nicht da wäre; aber im Ocular wird Csb in die Richtung st gebrochen und unter den gegen b gerichteten Strahlen kommt nur der durch die Mitte des Oculars gehende Strahl uvb nach b , und mit ihm sind alle ausfallende vom obern Puncte des Gegenstandes herkommende Strahlen ro , vb , st parallel. Der Winkel $rov = avb$ ist also so bestimmt, daß $ab = va$. Tang. $rov = Ca$. Tang. pCA ist, oder da hier Tangente und Bogen als gleich anzusehen sind, der Winkel $rov = \frac{Ca}{va} \cdot pCA$, der vergrößerte Sehewinkel verhält sich also zum natürlichen Sehewinkel, wie Ca zu va , wie die Brennweite des Objectivs zu der Entfernung des Zerstreungspunctes des Oculars. Wenn also zum Beispiel mit einem Ocular, dessen Zerstreungspunct 1 Zoll entfernt ist, eine 30 malige Vergrößerung bewirkt werden sollte, so müßte das Objectiv 30 Zoll Brennweite haben. Die Länge des Fernrohrs, d. h. der Abstand beider Gläser von einander, ist dem Unterschiede beider Brennweiten gleich. Wenn die Gläser so geschliffen sind, daß

beide convexe Seiten des Objectivs einerlei Kugelfläche angehören, so ist die Brennweite

$$f = \frac{nr}{2(m-n)},$$

und wenn eben so r' den Halbmesser beider Oberflächen des Hohlglases bezeichnet, so ist für dieses

$$f' = \frac{-n \cdot r'}{2(m-n)},$$

also $\frac{f}{f'} = \frac{r}{r'}$, die Vergrößerung. In andern Fällen würde dieser Ausdruck verwickelter, wenn man ihn durch die Radien angeben wollte.

8. Dieses Fernrohr hat die Unbequemlichkeit, ein sehr kleines Gesichtsfeld zu geben, besonders dann, wenn das Auge nicht ungemein nahe hinter dem Augenglase steht. Stellt in unserer Figur den äußersten Punct des Glases vor, so ist zu der äußersten gegen die Axe geneigte Strahl, welcher noch nach zu r gebrochen, das Auge o erreicht, und wenn pC mit zu u parallel ist, so ist pCA der Halbmesser des Gesichtsfeldes. Das Bild ab soll hier alles was in dem Halbmesser des Gesichtsfeldes liegt, darstellen, und wenn ich also diesen $= \varphi = pCA$ nenne und Bogen und Tangente verwechsle, so ist $ab = Ca$. $\varphi = f \cdot \varphi$, wenn f die Brennweite ist. Der Punct r , wo der äußerste auf das Glas fallende und nach b gelangende Strahl das Ocular trifft, wird hier zunächst durch rv vermittelt der Proportion $(ab + rv) : ab + cu = av : aC$, oder wenn der Halbmesser des Objectivs $Cu = h$ ist, durch

$$f \cdot \varphi + rv : f \cdot \varphi + h = f' : f,$$

$$\text{das ist } rv = f' \cdot \varphi + \frac{f'}{f} \cdot h - f \cdot \varphi$$

bestimmt. Nenne ich aber die Entfernung des Auges vom Ocular $ov = z$, so ist auch $rv = z \cdot \frac{f\varphi}{f'}$ und daher $\varphi = \frac{h \cdot f'^2}{f(zf + (f-f')f)}$

Bei einem Objective also, dessen Halbmesser $= h$, einen Zoll betrüge, und das zehnmal vergrößern sollte, also $\frac{f}{f'} = 10$, würde $\varphi = \frac{10 \cdot h}{10 \cdot z + 9 \cdot f}$ also für $z = \frac{1}{4}$ Zoll und $f' = 1$ Zoll, $\varphi = 31'$; dagegen für $z = \frac{1}{2}$ Zoll, $\varphi = 24'$. Sollte aber $\frac{f}{f'} = 20$ seyn, und $h = f' = 1$, so wäre für $z = \frac{1}{4}$ Zoll, $\varphi = 8'$,

ein ungemein kleines Sehfeld, dabei müßte $vr = \frac{hz}{\frac{f}{z} + (f-f')}$

seyn, oder so groß müßte wenigstens der Halbmesser des Oculars seyn, um die vom Rande des Gesichtsfeldes kommenden Strahlen noch durchzulassen. Die Kleinheit der Gesichtsfeldes, selbst bei mäßigen Vergrößerungen, ist der Grund, warum dieses Fernrohr nicht mehr im Gebrauche ist, und nur noch zu Taschenfernrohren angewandt wird, wobei $\frac{f}{f'}$ kaum jemals einen höhern Werth als 4 oder 5 hat. In diesem Falle wird, wenn h auch nur $\frac{1}{4}$ Zoll ist, und $f' = 1$ Zoll, $z = \frac{1}{4}$ Zoll wäre, φ doch beträchtlich über 1 Grad. Das Gesichtsfeld würde vergrößert, wenn man zwischen den bisher betrachteten beiden Gläsern noch ein convexes Glas einsetzte, aber da wir eine ähnliche Einrichtung zur Sammlung der Strahlen nachher bei dem astronomischen Fernrohr betrachten müssen, so will ich sie hier übergehen.

9. Dagegen muß ich doch noch erwähnen, was für Aenderungen dieses Fernrohr erleiden muß, wenn der beobachtete Gegenstand weniger entfernt ist, und ferner wenn das Auge kurzsichtig ist.

Wenn der Gegenstand näher ist, so daß in der Formel für x (No. 5.) das letzte Glied des Nenners nicht ganz unbedeutend wird, so wird der Abstand des Bildes, Ca , größer. Nehmen wir noch immer einen fernsichtigen Beobachter an, der also das Augenglas so stellt, daß es ihm parallele Strahlen giebt: so muß dieser das Augenglas ein wenig vom Objective entfernen, nämlich so, daß der Zerstreuungspunct des Hohlglases nun mit dem in der Axe liegenden Punkte des Bildes zusammenfällt. Da man nie ungemein nahe Gegenstände betrachtet,

so wird $x = \frac{fb}{b-f}$ oder wenn $b = \mu f$ ist, $x = \frac{\mu}{\mu-1} \cdot f$,

niemals sehr von f verschieden, jedoch für einen Gegenstand, dessen Entfernung zehnfach so groß als f , erhielt man $x = f + \frac{1}{9}f$, so daß das Vorrücken des Oculars allerdings ein Neuntel der Brennweite betragen würde. Ist der Beobachter dagegen kurzsichtig, richtet aber seine Beobachtung auf einen unendlich entfernten Gegenstand, so bleibt Ca die wahre Brennweite,

aber nun muß der Beobachter das Ocular ein wenig dem Objective nähern, damit der Zerstreuungspunct des Hohlglases ein wenig vor dem Bilde *a* liege, und die Strahlen nicht unter sich parallel, sondern ein wenig divergirend aus dem Ocular hervorgehen.

Das astronomische Fernrohr.

10. Die Einrichtung des astronomischen Fernrohrs (*tubus astronomicus seu coelestis; lunette astronomique; astronomical telescope*) ist KEPLER'S Erfindung¹. Er stellte die Theorie der Linsengläser zuerst, so weit es die damals bekannten Brechungsgesetze gestatteten, gründlich dar, und zeigte, daß man durch zwei convexe Gläser bei gehöriger Stellung die Gegenstände zwar umgekehrt, aber vollkommen deutlich und vergrößert sehe; dabei aber übersehe man viel auf einmal, oder das Gesichtsfeld sey bedeutend groß. Auf das

Fig. 30. convexe Glas *DE* fallen die Strahlen von einem unendlich entfernten Gegenstande; die in der Richtung *AC* auffallenden Strahlen vereinigen sich in dem Punkte *a*, die mit *pC* parallel einfallenden in *b* und *ab* ist das umgekehrte Bild des Gegenstandes. Das convexe Augenglas *GH* ist so aufgestellt, daß es seinen Brennpunct gleichfalls in *a* hat, und die in *a* sich durchkreuzenden Strahlen werden, weil sie vom Brennpuncte des Linsenglases *GH* ausgehen, so gebrochen, daß sie unter sich und mit der Axe parallel ausfallen, also dem Auge in *o*, wenn es fernsichtig ist, ein vollkommen deutliches Bild geben. Auch die in *b* sich durchkreuzenden Strahlen gelangen aus der Brennweite zum Augenglase und man kann den durch die Mitte *v* des Augenglases gehenden Strahl *bv* fast ganz als ungebrochen durchgehend, alle andern aber als nach der Brechung mit *bv* parallel ansehen. Das Auge sieht also jeden Punct des Bildes vermittelt paralleler Strahlen, also deutlich. Aber der Gegenstand erscheint umgekehrt, da der von *b* kommende Strahl *bd* von einem unterhalb *ov* liegenden Puncte herkömmt, da doch der Punct in der Richtung *Cp*, von welchem *b* das Bild ist, oberhalb *oA* liegt.

11. Die Vergrößerung wird auch hier durch den Quotien-

¹ Dioptrice, s. demonstratio eorum, quae visui et visibilibus propter conspiciilla nuper detecta accidunt. August. Vind. 1611.

ten der Brennweiten ausgedrückt, indem, wenn man den Bogen oder Winkel mit seiner Tangente verwechselt,

$$avb = \frac{aC}{av} \cdot aCb = \frac{aC}{av} \cdot ACp$$

ist. Es erhellet aber aus dem Vorigen leicht, daß ACp die scheinbare Gröfse, wie sie dem blofsen Auge erscheint, $avb = v\alpha$ die scheinbare Gröfse durch das Fernrohr ist. Die *Länge des Fernrohrs* ist die Summe der Brennweite beider Gläser. Das *Gesichtsfeld* ist hier viel gröfser, als in dem Fernrohre des GALLAEI; denn ein Auge in o , das etwas mehr als um die Brennweite vom Augenglase entfernt ist, erhält Licht von allen Strahencylindern, die durch das Fernrohr durchgehen. Der vortheilhafteste Punct, wo das Auge seine Stellung nehmen muß, wird so bestimmt. Wenn man durch den Mittelpunct des Objectivglases sich Linien pCb und andere, die von verschiedenen Gegenständen herkommen, gezogen denkt, so sind dieses allemal diejenigen, welche dem Bilde ab das beste Licht zuführen, indem die sehr nahe um den Mittelpunct einfallenden Strahlen sich am vollkommensten in *einem* Puncte des Bildes vereinigen. Wären diese Strahlen allein da; so würden sie sich als von dem Puncte C ausgehend, dessen Entfernung Cv vom Augenglase $= b$ sey, so in o vereinigen, daß $v o = \frac{b \cdot f'}{b - f'}$

wäre, wenn f' des Augenglases Brennweite¹ bedeutet. Dadurch wird also ein Punct o als Ort des Auges bestimmt, wo das Auge alle diese auf die Mitte des Objectives auffallende Strahlen, so fern sie durch das Augenglas zum Auge gelangen können, empfängt. Da hier $Cv = b = f + f'$ ist, wenn man unter f des Objectivglases Brennweite versteht, so ist die Lage jenes Punctes auch durch $v o = f + f' \cdot \frac{f'}{f}$ bestimmt. Hiernach

könnte es scheinen, als ob man das Gesichtsfeld ungemein groß erhalten könnte; aber da das Augenglas eine bedeutende Vergrößerung geben, eben deshalb aber die convexen Flächen kleinen Kugeln angehören müssen, so ist die Grenze gleichwohl ziemlich bestimmt. Das Auge o kann nämlich nicht mehr übersehen, als die Gegenstände, deren Lichtstrahlen das Augenglas durchläfst, folglich, wenn wir jetzt nur auf die nahe um

1 S. No. 5.

die Mitte C einfallenden Strahlen sehen, nur die, als die äußersten, von welchen der gerade fortgeführte Lichtstrahl pC den Rand H des Oculars trafe. Diese Gegenstände scheinen dem Auge o um den Winkel $\nu o H$ von der Axe entfernt zu liegen; der Winkel aber, um welchen eben diese Gegenstände dem bloßen Auge von der Axe entfernt zu liegen scheinen, ist der Halbmesser des Gesichtsfeldes $= H C \nu = p C A$, und dieser Winkel

kann $\varphi = \frac{h'}{f+f'}$ gesetzt werden, wenn h' der Halbmesser

des Augenglases ist; φ ist also so groß, als der Halbmesser des Oculars von dem Mittelpunkte des Objectives aus gesehen, erscheint. Bei kurzen Fernröhren müßte man aus

Tang. $pCA = \frac{h'}{f+f'}$ den Winkel selbst erst suchen. Uebri-

gens versteht es sich von selbst, daß h' der Halbmesser des offenen Theiles des Augenglases ist, wenn dieses zum Theil durch eine Blending bedeckt wäre.

12. Man kann ein größeres Gesichtsfeld mit Hilfe eines doppelten Oculars erhalten. Um die Wirkung dieses doppelten Oculars in Hinsicht auf Vergrößerung zu übersehen, nehme ich das erste Ocular zwischen dem Objectiv und seinem Brennpunkte

Fig. 31. in der Entfernung $fx = k$ vom Brennpunkte an.

Da nun die im Objective gebrochenen Strahlen gegen f convergiren, so ist in der Formel (No. 4.) $b = -k$ zu setzen, und

$x = gx = \frac{kf}{k+f'}$ giebt den Abstand des Bildes gm vom Ocu-

lare; die Strahlen, welche sonst in f gesammelt wären, kommen nun in g , die welche sonst in l gesammelt wären, kommen nun in m zusammen. Das zweite Ocular sey in z aufgestellt, so daß zg die Brennweite $= f'$ ist; dann sieht ein jenseits z stehendes Auge den Gegenstand durch parallele Strahlen deutlich, aber umgekehrt so wie das Bild gm es zeigt. Der Sehwinkel, der ohne Fernrohr $= fCl = \varphi$, war, ist $= gzm$ geworden, und wenn man $f' = x$, oder $zg = gx$ nimmt, so

ist $gzm = gxm = \frac{f}{k} \varphi$, weil $fl = f \cdot \varphi = k \cdot gxm$ ist, da hier

Winkel und Tangente verwechselt werden dürfen. Die Ver-

größerung ist also $= \frac{f}{k}$.

Die Größe des Gesichtsfeldes wird auch hier durch den Winkel α $Cy = \varphi$ bestimmt, wenn yx der Halbmesser des ersten Oculars ist, und dieser Winkel würde hier durch $\frac{h'}{f-k}$ ausgedrückt, wenn h' den Halbmesser des Augenglasses angebe. Also, wenn hier die Vergrößerung $= \frac{f}{k} = m$ heißt, so wäre

$\varphi = \frac{h'}{k(m-1)}$. Ich will dieses sogleich auf ein bestimmtes Beispiel anwenden. Das erste Ocular sey so aufgestellt, daß

$k = \frac{1}{2}f'$ ist, so würde die Vergrößerung $= \frac{2f}{f'} = m$; f'' , welches $= x$ war, würde $= \frac{1}{3}f'$. Das zweite Ocular muß einen so großen Halbmesser $= h''$ haben, daß jener Hauptstrahl Cy , der die Axe in C schneiden würde, das Ocular noch treffe. Die

Entfernung $x'o$ wird hier $= \frac{cx \cdot f'}{cx + f'} = \frac{(f-k)f'}{f-k-f'} = \frac{(f-\frac{1}{2}f')f'}{f-\frac{3}{2}f'}$

und folglich $z'o = x'o - 2f'' = x'o - \frac{2}{3}f'$
 $= f' \left(\frac{2f-f'}{2f-3f'} \right) - \frac{2}{3}f' = \frac{(\frac{2}{3}f+f')f'}{2f-3f'}$

und offenbar $h'' = \frac{h' \cdot z'o}{x'o} = h' \left(\frac{\frac{2}{3}f+f'}{2f-f'} \right)$.

Da nun h'' einen gewissen Theil der Brennweite nicht überschreiten darf, ohne Undeutlichkeit der Bilder zu bewirken, so sey $h'' = \mu f''$; dieses richtige Maafs dann ist

$h' = h'' \left(\frac{\frac{2}{3}f-f'}{\frac{2}{3}f+f'} \right)$

$= \mu f'' \left(\frac{\frac{2}{3}f-f'}{\frac{2}{3}f+f'} \right)$

$= \mu f' \left(\frac{2f-f'}{2f+3f'} \right)$,

so daß h' noch etwas geringer wird, als es nach jenem Verhältnisse wohl dürfte. Hätte man mit einem Ocular die Ver-

größerung $= \frac{2f}{f'}$ erreichen wollen, so hätte man dem Ocular

die Brennweite $= \frac{1}{2}f'$ geben müssen, und dann wäre der

Halbmesser des Gesichtsfeldes $= \frac{\frac{1}{2} \mu f'}{f + \frac{1}{2}f'}$ geworden; jetzt hin-

gegen hat man bei eben der Vergrößerung den Halbmesser des

Gesichtsfeldes $= \frac{h'}{k(m-1)} = \frac{h'}{f - \frac{1}{2}f'}$ und da $h' = \frac{\mu f' (2f - f')}{2f + 3f'}$

seyn sollte, so ist des Gesichtsfeldes Halbmesser $= \frac{2\mu f'}{2f + 3f'}$

oder $= \frac{\mu f'}{f + \frac{3}{2}f'}$, welches fast genau das Doppelte dessen ist,

was wir bei dem einfachen Oculare erhielten.

13. Die *Lichtstärke* des Fernrohrs läßt sich aus folgenden Ueberlegungen beurtheilen. Wenn h der Halbmesser des Objectivs ist, so fällt von eben dem Gegenstande, der dem bloßen Auge die Lichtmenge $\pi \cdot a^2 \cdot l$ zusandte¹, auf das Objectivglas die Lichtmenge $= \pi h^2 \cdot l$, und wenn das Augenglas alle diese vereinigten Strahlen, nachdem sie durch den Brennpunct gegangen sind, auffängt, und wenn dann der Augensterne groß genug ist, sie aufzunehmen, so ist, in Hinsicht auf den gesammten Glanz, die Lichtstärke des Fernrohrs $= \pi \cdot h^2 \cdot l$

$= \frac{h^2}{a^2} \cdot \pi \cdot a^2 \cdot l$, oder $\frac{h^2}{a^2}$ drückt dann das aus, was ich in

No. 4. μ nannte.

Wenn der Gegenstand ein so höchst kleiner ist, wie ein Fixstern, so hat man allein diese ganze Lichtmenge zu bestimmen nöthig, jedoch müßte man, wenn der Augensterne nicht den ganzen Lichtkegel da e faßte, deshalb eine Reduction vornehmen,

die aber, weil $vd = \frac{h \cdot f'}{f}$ ist, nur dann nöthig wird,

wenn $a < \frac{hf'}{f}$ ist. Wäre der Gegenstand kein Fixstern, sondern größer, so daß sein Bild einen erheblichen Raum ab ein-

¹ Vergl. No. 4.

nimmt, so wäre nach den frühern Bemerkungen der mittlere Grad der Erleuchtung auf der Retina beim bloßen Auge der Größe $\frac{a^2 l}{\varphi^2}$ proportional; wo φ den scheinbaren Halbmesser

bedeutet, und jetzt würde, da das Bild auf der Retina dem vergrößerten Sehwinkel $= \frac{\varphi \cdot f}{f'}$ gemäß ist, die vergrößerte Licht-

menge $= \pi h^2 \cdot l$. durch $\frac{\pi \cdot \varphi^2 f^2}{f'^2}$ zu dividiren seyn, also

$\frac{h^2 f'^2}{\varphi^2 \cdot f^2} l$ würde der Ausdruck für die dem Auge erscheinende

Helligkeit seyn; und $\frac{h^2 f'^2}{a^2 f^2}$ zu 1 würde ihr Verhältniß zu

derjenigen angeben, welche für das bloße Auge, wenn es denselben Gegenstand betrachtete, statt fand. Diese Formel ergiebt in Beziehung auf Gegenstände von merklichem scheinbarem Durchmesser die Regel, daß die mittlere Intensität des Glanzes zwar erstlich der Größe der Fläche des Objectivglases direct, dann aber auch dem Quadrate der Vergrößerung umgekehrt proportional ist. Auf den Lichtverlust beim Durchgange durch beide Gläser ist hier nicht gesehen; wenn man durch Versuche den Bruch kennt, der das Verhältniß des von ihnen durchgelassenen Lichtes gegen das auffallende angebt, so muß jener Ausdruck noch damit multiplicirt werden. Wenn also z. B. das große FRAUNHOFER'sche Fernrohr in Dorpat 9 Zoll Objectiv-Öffnung hat, und wir dem Augensterne die Größe $= \frac{1}{6}$ Zoll beilegen¹, so wäre die absolute Lichtstärke $= 54^2$, und die Raum durchdringende Kraft $= 54$; für einen Körper dagegen, der merklich vergrößert gesehen wird, wäre bei der schwächsten 140 maligen Vergrößerung die Helligkeit jedes Punctes $= \left(\frac{54}{140}\right)^2 = \frac{1}{7}$ ungefähr, bei der stärksten 480 maligen Vergrößerung $= \left(\frac{54}{480}\right)^2 = \frac{1}{80}$ ungefähr, und es erhellet also, warum man bei Gegenständen, die nicht sehr lichtvoll sind, die Vergrößerung nicht zu weit treiben darf.

14. Bei denjenigen astronomischen Fernröhren, welche

¹ Nach HERSCHEL Astr. Jahrb. 1804. S. 231.

noch keine achromatische Objective hatten, verdiente vorzüglich die Frage, wie groß man die Objectiv - Oeffnung nehmen dürfe, ohne ein durch die Farbenzerstreuung zu sehr undeutlich werdendes Bild zu erhalten, eine genauere Untersuchung. Diese Frage war um so wichtiger, da, wie wir eben gesehen haben, die Lichtstärke des im Fernrohr gesehenen Bildes mit der Größe der Oeffnung sehr zunimmt, und man von dieser so wenig als möglich aufzuopfern wünschte. HUYGENS hat vorzüglich sich bemüht ¹, die Regeln, wonach die Größe der Oeffnung, die Apertur (*apertura, ouverture, aperture*), den freien Durchmesser des Objectivs, bestimmt werden müsse, anzugeben; hatte das Objectiv einen größeren Durchmesser, so mußte dieser mit einer *Blendung* (*annulus, aperturam lentium definiens*), das ist mit einem Ringe von Holz, Blech oder Pappe, belegt werden, um die vom Rande herkommenden, das Bild undeutlich machenden, Strahlen abzuhalten. HUYGENS's Regeln beruhen auf folgenden Ueberlegungen.

Wenn man die Abweichung wegen der Kugelgestalt, als unbedeutend gegen die wegen der Farbenzerstreuung, bei Seite setzt, so kommt hier alles auf die Betrachtung zurück, daß die Brennweite des Objectivglases nicht dieselbe ist für die Strahlen

der einen und der andern Farbe. Das Brechungsverhältnis

ist, wenn ich hier nur bei NEWTON's Bestimmung stehen bleibe, indem jede einzelne Glasart doch etwas anderes giebt, = 0,65 für rothe, und 0,641 für violette Strahlen, und der Brennpunct

der rothen Strahlen h liegt also in der Entfernung = $\frac{0,65}{0,35} \cdot \frac{r \cdot \varrho}{r + \varrho}$,

Fig. 32. der Brennpunct k der violetten Strahlen in der Entfernung = $\frac{0,641}{0,359} \cdot \frac{r \cdot \varrho}{r + \varrho}$. Stellen wir also das Augenglas so, daß wir

den mitten zwischen k und h liegenden Punct am deutlichsten sehen, so vereinigen sich hier die auf das Objectiv AB auffallenden von einerlei Puncten ausgehenden Strahlen nicht in einem einzigen Punct, sondern in einen Kreis vom Halbmesser

$$= \frac{CA \cdot kh}{kC + hC} = \frac{h \cdot (1,857 - 1,786)}{1,857 + 1,786} = \frac{h \cdot (0,071)}{3,643} = h \cdot 0,0195$$

¹ Hugenii opuscul. posth. Lugd. Bat. 1703.

wenn h der Halbmesser des Objectives ist. Die Zahl 0,0195, welche stets dieselbe bleibt, wenn man einerlei Glasart beibehält, will ich $= \zeta$ setzen, so ist dieses Kreises Inhalt $= \pi \cdot \zeta^2 \cdot h^2$.

Dieser Kreis erscheint aber desto größer oder macht auf der Netzhaut ein desto größeres Bild, je näher das Auge steht, oder welches hier dasselbe ist, je kleiner die Brennweite des Augenglases ist. Jenes kleinen Kreises Halbmesser nämlich erscheint dem durch das Augenglas von der Brennweite f' sehenden Auge unter einem Schewinkel, dessen Tangente $= \frac{\zeta \cdot h}{f'}$ ist, und der auf der Netzhaut des Auges hervorgebrachte Kreis hat also eine der Größe $\frac{\zeta^2 \cdot h^2}{f'^2}$ proportionale Größe, und dieser Ausdruck giebt

das Maß der Undeutlichkeit, welche verschwinden würde, wenn $\zeta = 0$ wäre oder ein von Farbenzerstreuung freies Objectivglas genommen würde. Bei gleicher Glasart ist er dem Quadrate von h direct, dem Quadrate von f' umgekehrt proportional.

Die Frage, welche Apertur man dem Fernrohre geben dürfe, kam nun darauf hinaus, zu bestimmen, wie groß die Apertur $= 2H$ eines andern Fernrohrs seyn dürfe, dessen Objectiv und Ocular die Brennweite F und F' haben, wenn die Lichtstärke und Deutlichkeit in beiden Fernröhren gleich seyn soll. Die Gleichheit der Lichtstärke wurde durch

$$\frac{h^2 \cdot f'^2}{f^2} = \frac{H^2 \cdot F'^2}{F^2},$$

die Gleichheit der Deutlichkeit durch

$$\frac{h^2}{f'^2} = \frac{H^2}{F'^2} \text{ angegeben; soll also die Ver-}$$

größerung $\frac{F}{F'} = v \cdot \frac{f}{f'}$ seyn, oder das zu bestimmende Fernrohr

v mal so viel als das andere vergrößern, so muß $F' = v \cdot f'$ und $H = v \cdot h$ seyn, und $F = v^2 \cdot f$, oder $H^2 : h^2 = F : f$. Die Brennweite des Augenglases und eben so auch die Apertur sind also der Vergrößerung proportional, beide aber auch der Quadratwurzel aus der Brennweite des Objectivs. Wenn man also 20 malige Vergrößerung bei 1 Fuß Brennweite des Objectivs, 0,55 Zoll Apertur und 0,61 Zoll Brennweite des Augenglases erreichte, so ward für 100 malige Vergrößerung eine Brennweite des Objectivs $= 25$ Fuß, Apertur $= 2,75$ Zoll, Brennweite des Oculars $= 3,05$ erfordert, und um 400 malige Ver-

größerung bei gleicher Deutlichkeit und Lichtstärke zu erhalten, hätte des Objectivs Brennweite 400 Fufs seyn müssen, wozu denn eine Oeffnung von 11 Zoll und Brennweite des Oculars = 12 Zoll gehört hätte. Um die Vergleichung zwischen diesem ungeheuern Fernrohr von 400 Fufs Länge und dem 16fussigen Fraunhofer'schen zu vollenden, müßte man nun doch noch die Betrachtung, daß jenes immer noch einige Fehler wegen der Farbenzerstreuung behielt, hinzufügen¹.

15. Die Frage, wie man das Fernrohr für nähere Gegenstände oder wie man es für kurzsichtige Augen stellen muß, läßt sich hier fast eben so, wie in No. 9. beantworten. Das ^{Fig.} 30. Bild eines nähern Gegenstandes liegt weiter nach v zu, als der Brennpunct a des Objectivs, und das Augenglas GH muß also etwas weiter vom Objective entfernt werden, damit der Brennpunct des Oculars mit dem Bilde zusammenfalle. Sieht ein Kurzsichtiger durch das Fernrohr, so verlangt er die hervorgehenden Strahlen vo nicht unter sich parallel, sondern etwas divergirend, er muß daher das Ocular dem Objective etwas näher bringen. Um diese Stellung des Augenglases zu erhalten, um sie so, wie jedes Auge es fordert, zu berichtigen, haben die stark vergrößernden Fernröhre eine Stellschraube, mit der man sehr feine Aenderungen hervorbringt; denn bei kleinen Brennweiten des Oculars bedarf es nur unbedeutender Aenderungen, um das Fernrohr jedem Auge angemessen zu machen.

16. Als eine besondere Art der astronomischen Fernröhre sieht man die **Kometensucher**, oder **Nachtfernrohre** an (*telescopia nocturna*; lunettes de nuit; *night-telescopes*, auch wohl *kits-eyes*, Katzen-Augen genannt). Ihre Bestimmung ist Gegenstände, die wenig Licht haben und deren Ort man nicht genau kennt, aufzusuchen, z. B. am Himmel die Kometen, kleine Sterne oder Nebelflecke, auf der Erde bei Nacht Gegenstände, die wenig erleuchtet sind, z. B. Schiffe, oder Gegenstände am Ufer, wenn die Schiffer sich ihrer bedienen. Um dieses Zweckes willen, bedürfen sie einer großen Lichtstärke, um schwach leuchtende Gegenstände kenntlich zu machen, und eines großen Gesichtsfeldes. Beides erhält man,

¹ Die von HUYGENS berechnete Tafel für Brennweite, Apertur und Vergrößerung s. bei Smith Lehrb. d. Optik. p. 193. und eine von TOB. MAYER berechnete Tafel in Klügel's Dioptrik. S. 179.

wenn man dem Objective bei mäfsiger Brennweite eine bedeutende Oeffnung giebt; denn selbst ein einfaches Ocular von bestimmtem Durchmesser giebt ja das Gesichtsbild desto gröfser, je kleiner die Brennweite beider Gläser ist. Die Vergrößerung kann dann nicht so erheblich werden, aber dieses ist auch bei den Gegenständen, die der Schiffer auf dem Meere wahrnehmen will, gar nicht nothwendig, und beim Kometensucher kann man eher auf Vergrößerung als auf Lichtstärke Verzicht leisten. In den Formeln (No. 13.) würde z. B. bei 10 maliger

Vergrößerung, $\frac{f}{F} = 10$, die Lichtstärke die vierfache seyn, wenn

$h = 20 \cdot a$, der Durchmesser des Objectivs 3 Zoll wäre. Die Fraunhofer'schen Kometensucher von 34 Linien Objectiv-Oeffnung haben bei 24 Zoll Brennweite und 10 maliger Vergrößerung ein Gesichtsfeld von 6 Graden Durchmesser. Bei so sehr großem Gesichtsfelde bemerkt man zwar schon, dafs am Rande die Gegenstände nicht vollkommen deutlich erscheinen; aber da es hier nur darauf ankommt, die Gegenstände zu bemerken, die man dann, theils indem man sie in die Mitte des Gesichtsfeldes bringt, theils indem man ein anderes Fernrohr zu Hülfe nimmt, genauer beobachten kann, so ist dieses kein wesentlicher Fehler.

Das Erdfernrohr.

17. Da es uns bei Gegenständen auf der Erde unangenehm und störend ist, wenn sie in umgekehrter Stellung erscheinen, so ist der Zweck des Erdfernrohrs, (*telescopium terrestre*) die vergrößert erscheinenden Gegenstände zugleich in aufrechter Stellung zu zeigen.

Ehe ich die von DE RHEITA angegebene, zu diesem Zwecke in Gebrauch gekommene, Einrichtung beschreibe¹, will ich die Frage beantworten, warum die einfacher scheinende Einrichtung, wo das Fernrohr nur aus drei Gläsern besteht, nicht so zweckmäfsig ist.

Käme es allein darauf an, die umgekehrte Erscheinung des Bildes in eine aufrechte zu verwandeln, so könnte man dieses durch zwei im Ocular-Einsatze (*tubus ocularis*;

¹ Einige andere Vorschläge, die minder brauchbar sind, erwähnt Montucla II. 236.

Fig. 3. tuyau oculair; *eye-piece*) befindliche Convexgläser be-
 wirken. Es sey A das Objectiv, B das durch dieses hervorge-
 brachte Bild, C sey ein convexes Glas, in der Entfernung $BC=b$,
 die gröfser als die Brennweite ist, von dem Bilde aufgestellt, so
 bringt dieses in D ein umgekehrtes Bild von B, also ein auf-
 rechtes Bild des beobachteten Gegenstandes hervor und dieses
 kann durch das Augenglas E bequem betrachtet werden, wenn
 DE die Brennweite des letztern ist. Ein Auge vor E stehend,
 sieht also den Gegenstand aufrecht. Ist das Auge kurzsichtig,
 so muß es das Bild D dem Augenglase E etwas näher haben, und
 dies erhält es, wenn es den ganzen Ocular-Einsatz CE ein we-
 nig hineinschiebt, indem dann BC kleiner, also CD etwas
 gröfser wird. Die ganze Länge des Fernrohrs würde hier
 $= f + b + \frac{bf'}{b-f'} + f''$ seyn, wenn f des Objectivs und f'' des
 letzten Oculars Brennweite wäre, f' aber des Glases C Brennweite.

Die *Vergrößerung* dieses Fernrohrs läfst sich leicht bestim-
 men. Heißt nämlich der natürliche Sehwinkel $\varphi = \angle BAG$, so
 ist $BG = f \cdot \varphi$; das Bild DH ist $= \frac{\beta}{b} BG = \frac{\beta f \varphi}{b}$, wenn
 $BC = b$, $CD = \beta = \frac{bf'}{b-f'}$ ist, und dieses erscheint dem durch
 E sehenden Auge unter dem Sehwinkel $= \frac{DH}{f''} = \frac{\beta}{b} \cdot \frac{f}{f'} \varphi$, so daß
 die Vergrößerung $= \frac{f'}{b-f'} \cdot \frac{f}{f'}$ ist. Damit das Fernrohr nicht
 allzulang werde, müßte man $b = \beta = 2f'$ annehmen, wo dann,
 wenn man auch $f' = f''$ setzt, die Vergrößerung $= \frac{f}{f'}$ wird.

Die *Größe des Gesichtsfeldes* fände man wieder indem man
 den unter dem Winkel $= \varphi$ gegen die Axe geneigten, durch die
 Mitte des Objectivs gehenden und den Rand des Glases C tref-
 fenden Strahl verfolgt. Des Glases C Halbmesser sey $= h'$, so
 ist $\varphi = \frac{h'}{f+b} = \frac{h'}{f+2f'}$ die Grenze der Strahlen, welche das
 Glas C treffen. Die durch die Mitte des Objectivs gehenden
 Strahlen treffen alle die Axe wieder in P, wo

$CP = \frac{(b+f)f'}{b+f-f'} = \frac{(2f'+f)f'}{f+f'}$ ist, und da $CE = 3f'$ ist, an-

genommen, daß $EP = 3f'' - \frac{(f+2f'')}{f+f''} f''$ sey, so läßt sich leicht bestimmen, in welcher Entfernung vom Centro des Glases E die äußersten Strahlen vorbeigehen, indem diese $= h'' = \frac{h' \cdot EP}{CP}$ wird. Um deutliche Bilder zu geben, darf

man h'' nicht größer als höchstens $\frac{1}{4} f''$ nehmen, wenn also z. B. $f = 20f''$, die Vergrößerung 20 malig seyn soll, so würde

$$\begin{aligned} h' &= \frac{h'' \cdot CP}{EP} \\ &= \frac{1}{4} f'' \left(\frac{f+2f''}{2f+f''} \right) \\ &= \frac{1}{4} \cdot \frac{22}{41} \cdot f'' \\ &= \frac{11}{82} f'', \text{ und des Gesichtsfeldes Halbmesser} \end{aligned}$$

$\varphi = \frac{11}{82} \cdot \frac{1}{22} = 0,006 = 20 \frac{1}{2}'$, statt daß ein astronomisches

Fernrohr dessen Ocular den Halbmesser $= \frac{1}{4} f''$ hätte, bei 20

maliger Vergrößerung der Werth des $\varphi = \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{21} = 41'$ gegeben hätte.

Diese Verkleinerung des Gesichtsfeldes ist einer der Gründe, warum diese Einrichtung nicht brauchbar ist, ein anderer liegt in der Farbenzerstreuung der Oculare, die ich in der Folge erst erwähnen werde.

18. In beiden Hinsichten hat das von DE RHEITA angegebene, und noch immer als bequem anerkannte, Erdfernrohr mit 4 Gläsern einen Vorzug. Dieses ist als eine Zusammensetzung zweier astronomischer Fernröhre anzusehen, indem die vom Objective ED aufgefangenen Strahlen in ab ein Bild hervorbringen, dann in dem Glase GH, welches in a seinen Brennpunkt hat, so gebrochen werden, daß die von jedem einzelnen Punkte des Gegenstandes kommenden Strahlen parallel ausfahrend das Glas IK treffen, in $\alpha\beta$ ein neues, offenbar aufrechtes Bild des Gegenstandes darstellen und endlich durch LM gebrochen als parallele Strahlen zum Auge O gelangen, wenn a beider Gläser IK und LM Brennpunct ist. Daß das Auge in O den Gegenstand aufrecht sieht, daß ein fernsichtiges Auge ihn auch deutlich sieht, erhellet leicht; die übrigen Umstände will ich jetzt näher betrachten.

Fig.
34.

Aus dem Vorigen ist klar, daß $aCb = \varphi$ der Sehwinkel ist, unter welchem der Gegenstand, dessen Bild ab darstellt, dem bloßen Auge in C , also auch, da des Gegenstandes Entfernung so sehr groß ist, in O erscheint. Es ist aber $ab = f \cdot \varphi$. und offenbar $aVb = \frac{f \cdot \varphi}{f'} = \alpha W\beta$, also $\alpha\beta = \frac{f'' \cdot f\varphi}{f'}$, und endlich $\alpha z\beta = \frac{f''}{f'''} \cdot \frac{f}{f'} \cdot \varphi$, wenn f, f', f'', f''' die Brennweite der auf einander folgenden Gläser sind. Die *Vergrößerung* ist also $= \frac{f \cdot f''}{f' \cdot f'''}$ die Länge des Fernrohrs $= f + f' + VW + f' + f''$, wo VW willkürlich ist.

19. Um die Größe des *Gesichtsfeldes* zu bestimmen, müssen wir wieder die Strahlen verfolgen, welche durch die Mitte des Objectivs gehend den Rand des ersten Oculars treffen. Als Beispiel sey, wie SMITH es fordert¹, $VW = f' + f''$ und über das $f' = f''$, so schneiden die sämtlichen durch den Punkt C gehenden Strahlen die Axe in P da, wo $VP = \frac{(f+f')f'}{f} = f' + \frac{f'}{f}$ ist. War nun $VH = h'$, so muß des zweiten Oculars Halbmesser $WI = h''$ so groß seyn, daß der letzte durch H gehende Strahl auch dieses Ocular noch trifft, also $h'' = \frac{h' \cdot WP}{VP} = \frac{h' (f-f')}{(f+f')}$.

Die Strahlen, welche von P ausgehend das zweite Ocular treffen, kommen wieder in p' in der Axe zusammen, und es ist $Wp' = \frac{WP \cdot f'}{WP - f'} = f - f'$. Da nun Z nicht so weit hinausliegt, daß p' diesseits Z fallen könnte, so findet man den Halbmesser $ZM = h'''$ des letzten Augenglases, indem man

$$h''' : h'' = Zp' : Wp', \text{ oder} \\ h''' = h'' \cdot \frac{f - 2f' - f'''}{f - f'} \text{ setzt.}$$

Hat also das letzte Ocular einen angemessenen Halbmesser $= h''' = \mu f'''$, der nämlich so groß ist, als die Deutlichkeit es verstattet, so wird

¹ Lehrbegriff. S. 36.

$$h'' = \frac{\mu f'' \cdot (f - f')}{f - 2f' - f''} \text{ und}$$

$$h' = \frac{h''(f + f')}{f - f'} = \frac{\mu f'' \cdot (f + f')}{f - 2f' - f''}.$$

So groß nämlich muß h' seyn, um alle die Lichtstrahlen aufzunehmen, die man auf dem letzten Augenglase mit Vortheil gebrauchen kann. Und hier würde h' den Werth $\mu f'$ nicht übertreffen, wenn f'' etwas kleiner als f' wäre; hätte man z. B.

$f'' = \frac{f'(f - 2f')}{f + 2f'}$, so hätte auch das erste Objectiv diejenige

angemessene Größe, wobei noch keine Undeutlichkeit entsteht; aber wenn auch $f'' = f'$ wäre, so würde doch $\frac{\mu(f + f')}{f - 3f'}$ den Werth von μ nicht so sehr bedeutend übertreffen, wenn f , wie allemal der Fall ist, ziemlich groß gegen f' ist.

Wenn f'' kleiner als f' , so ist im Erdfernrohr die Vergrößerung etwas stärker als in demjenigen astronomischen Fernrohre dessen zwei Gläser die Brennweite f und f' hätten, das Gesichtsfeld wäre aber eben so groß, indem sein Halbmesser $= \varphi = \frac{h'}{f + f'}$ ist, sobald h'' und h''' die angegebenen Größen bekommen.

20. Nach L. EULER'S und KLÜGEL'S Bestimmung ist indess diese Einrichtung noch nicht die vollkommenste, sondern, da der Abstand des ersten Oculars vom zweiten ganz willkürlich ist, so kann man diesen $= g$ noch besser zu bestimmen suchen. Der Vereinigungspunct der durch die Mitte des Objectivs einfallenden Strahlen liegt wieder so, daß

$$VP = \frac{(f + f')f'}{f} \text{ ist, also}$$

$$WP = g - f' - \frac{f'f'}{f};$$

$$\text{daraus würde } Wp' = \frac{\left(g - f' - \frac{f'f'}{f}\right)f'}{g - 2f' - \frac{f'f'}{f}},$$

oder $Wp' = \left(\frac{gf - f'f - f'f'}{gf - 2f'f - f'f'}\right)f'$ folgen, wenn des zweiten Oculars Brennweite $= f'$ ist, und da offenbar p' nicht gut zwi-

schen W und Z liegen kann, so ist

$$h'' = \frac{h''' \cdot W P'}{Z P'} = \frac{h''' (g \cdot f f' - f \cdot f'^2 - f'^3)}{f f'^2 - g f f''' + 2 f f' f''' - f'^2 f''''}$$

Soll also hier $h''' = \mu f'''$ und $h'' = \mu f'$ seyn, so würde g aus der Gleichung $f' (f \cdot f'^2 - g f f''' + 2 f f' f''' - f'^2 f''') = f''' (g f f' - f \cdot f'^2 - f'^3)$ bestimmt, also $g = \frac{f'^2}{2 f'''} + \frac{3}{2} f'$;

daraus aber folgt $W P = \frac{1}{2} f' - \frac{f'^2}{f} + \frac{f'^2}{2 f''}$, und

$$h' = \frac{h'' \cdot V P}{W P} = \frac{\mu f' \cdot f' f''' (f + f')}{\frac{1}{2} f f' f''' - f'^2 f'' + \frac{1}{2} f'^2 f'}$$

Es läßt sich leicht übersehen, daß hier h' leicht kleiner als $\mu f'$ zu erhalten ist, wenn man $f''' < f'$ nimmt. Es sey z. B. wie KLÜGEL aus andern Gründen annimmt¹,

$$f''' = \frac{2}{5} f',$$

$$\text{also } g = \frac{11}{4} f'$$

$$W P = \frac{7}{4} f' - \frac{f'^2}{f};$$

$$h' = \mu \cdot f' \cdot \frac{2}{5} \cdot \frac{(f + f')}{\frac{7}{10} f - f'}, \text{ welches z. B. für } f = 20 f'$$

$$h' = \mu \cdot f' \cdot \frac{2}{5} \cdot \frac{21}{13} = \frac{42}{65} \mu f' \text{ giebt.}$$

Hier würde $q = \frac{42 \cdot \mu}{65 \cdot 21}$, den Halbmesser des Gesichtsfeldes angeben, weil $f + f' = 21 f'$ ist, und eben dieser Halbmesser des Gesichtsfeldes wäre $= \frac{\mu f'''}{f + f'''} = \mu \frac{2}{102} = \frac{1}{51} \mu$ geworden, wenn man aus den beiden Gläsern, deren Brennweite $= 20 f'$ und $= \frac{2}{5} f'$ sind, ein astronomisches Fernrohr zusammengesetzt hätte. Ein Vortheil, der in Hinsicht auf den farbigen Rand erreicht wird, soll in der Folge erwähnt werden.

21. Man kann auch dem Erdfernrohre vier Oculare geben, und da dieses eine sehr gewöhnliche Einrichtung ist, so will ich wenigstens Einiges von den Anordnungen der Oculare, die hier möglich sind, angeben. Das erste Ocular steht

¹ Dioptrik §. 470. 471, wo er Euler's Regeln folgt.

zwischen dem Objective und dem vom Objective hervorgebrachten Bilde¹, dann bringen die beiden ersten Oculare zusammen eben die Wirkung, wie in dem astronomischen Fernrohre mit zwei Ocularen, hervor, und wenn das durch das erste Ocular dargestellte wirkliche Bild genau in den Brennpunct des zweiten Oculars fällt, so gehen dann die Lichtstrahlen parallel vom zweiten zum dritten Oculare über, vereinigen sich im Brennpuncte des dritten Oculars, der mit dem des vierten zusammenfällt, und kommen durch das vierte parallel in das Auge. Aber nicht immer ist die Anordnung so, daß die Strahlen aus dem zweiten Oculare parallel hervorgehen, sondern sie könnten auch nach einem ziemlich entfernten Punkte convergirend seyn; dann würde diese Convergenz durch das dritte Glas stark vermehrt und ein Bild dargestellt, welches sich allemal im Brennpuncte des vierten Glases befinden muß. Ob das eine oder das andere in einem gegebenen Fernrohre statt findet, kann man leicht so untersuchen. Man nehme den Ocular-Einsatz heraus, und lasse darin nur das dritte und vierte Ocular an ihren richtigen Stellen; durch diese sehe man nach einem entfernten Gegenstande und gebe Achtung, ob man ihn deutlich (wenn auch nicht vergrößert) erkennt; ist das der Fall, so stehen diese beiden Oculare so, wie es parallelen auf das dritte Ocular fallenden Strahlen angemessen ist. Sieht man aber die Gegenstände nicht deutlich, sondern muß man das eine Ocular herausnehmen und entfernter von dem andern halten, so waren die auf das dritte Ocular auffallenden Strahlen im Fernrohr convergirend. Wäre z. B. des Objectivs Brennweite 19 Zoll und befände sich das erste Ocular von $1\frac{3}{8}$ Zoll Brennweite nur 18 Zoll von jenem entfernt, so läge das erste wirklich entstehende Bild um den

$$\text{Abstand} = \frac{1\frac{3}{8} \cdot 1}{\frac{1}{3} + 1} = \frac{11}{19} \text{ Zolle hinter dem ersten Oculare,}$$

dafür will ich 7 Linien setzen. Das zweite Ocular stehe um 21 Linien von dem ersten ab, und seine Brennweite sey = 18 Linien, so würde dieses zweite Ocular ein neues Bild

1 Dieselbe Anordnung findet sich in Fig. 31. dargestellt.

in der Entfernung $= \frac{14 \cdot 18}{18 - 14} = 63$ Linien bilden, wenn nicht 35 Linien hinter dem zweiten Ocular sich das dritte befände. Des eben bestimmten Bildes Abstand vom dritten würde also 28 Linien betragen, und wenn dieses 23 Linien Brennweite hat, so kommt das Bild auf $\frac{28 \cdot 23}{28 + 23} = 12\frac{3}{5}$ Linien zurück, und wenn das letzte Ocular die Brennweite $= 12$ hätte, so würde die Vergrößerung 21fach seyn.

Das achromatische Fernrohr.

22. Obgleich die vollständige Beantwortung der Frage, wie ein Linsenglas zusammengesetzt seyn muß, um ganz farbenfrei zu seyn, in dem Artikel: *Linsenglas*, abgehandelt werden wird: so muß ich doch hier die Hauptbetrachtungen, worauf jene Untersuchung ankommt, erwähnen.

Fig.
35.

Wenn auf ein convexes Glas C parallele Strahlen fallen, so würden diese in A ein völlig bestimmtes, in einen einzigen Punct vereinigtes Bild eines vor dem Glase liegenden leuchtenden Punctes darstellen, wenn alle Farbenstrahlen einerlei Brechung erlitten. Durch das hinter jenem angebrachte hohle Glas D, das hier von anderer Glasart ist, wird der Vereinigungspunct weiter entfernt und B würde der Ort des Bildes seyn. Da wir aber hier auf die verschiedene Brechbarkeit der Lichtstrahlen zu sehen haben: so werden wir sagen müssen, in A würde das violette, in a das rothe Bild durch das Convexglas hervorgebracht, und beide werden nach B, b, durch das zwischengestellte Concavglas hinausgerückt. Hier entsteht nun die Frage, ob nicht die ungleiche Farbenzerstreuung der Gläser so seyn könnte, daß B und b in einen Punct zusammen fielen. Da B bei gleicher Gestalt des Concavglases desto weiter von A entfernt liegt, je stärker die violetten Strahlen im zweiten Glase gebrochen werden, und da b desto näher an a rückt, je weniger in demselben die rothen Strahlen gebrochen werden: so muß das zweite, hohle Glas die stärkere Farbenzerstreuung haben. Es sey μ für die rothen, ν für die violetten Strahlen im ersten Glase, und μ' für die rothen, ν' für die violetten Strahlen im zweiten Glase das Brechungsverhältniß: so würden

$$f = \frac{r \cdot \rho}{(\mu - 1)(r + \rho)} \quad \text{und} \quad F = \frac{r \cdot \rho}{(\nu - 1)(r + \rho)}$$

die Brennweiten des convexen Glases für die rothen und violetten Strahlen seyn. Jene fallen, wie wir beide Gläser als um die Entfernung = g von einander entfernt annehmen, so auf das Concavglas, daß ihr Sammelpunct um f—g hinter dem Glase läge, also in No. 5. b = —(f—g) ist; setze ich zugleich r' und ρ' als Radien der Kugelflächen negativ bei dem Concavglase, so wäre die Vereinigungsweite

$$= \frac{-(f-g)r'\rho'}{(\mu'-1)(f-g)(r'+\rho')-r'\rho'}$$

für die rothen Strahlen, und für die violetten Strahlen

$$= \frac{-(F-g)r'\rho'}{(\nu'-1)(F-g)(r'+\rho')-r'\rho'}$$

Diese Entfernungen müs-

sen gleich seyn. Da aber μ und ν wenig verschieden sind, so kann ich ν = μ + dμ; F = f + df setzen und erhalte demnach

$$f + df = \frac{r \cdot \rho}{r + \rho} \left(\frac{1}{\mu - 1} - \frac{d\mu}{(\mu - 1)^2} \right),$$

und wenn ich statt

$$\frac{-(F-g)r'\rho'}{(\nu'-1)(F-g)(r'+\rho')-r'\rho'}$$

setze

$$\frac{-(f-g+df)r'\rho'}{(\mu'-1+d\mu)(f-g+df)(r'+\rho')-r'\rho'},$$

so wird dieses

$$\text{offenbar} = \frac{-(f-g)r'\rho'}{(\mu'-1)(f-g)(r'+\rho')-r'\rho'} + \frac{df \cdot r'^2 \rho'^2 + d\mu' (f-g)^2 r'\rho' (r'+\rho')}{\{(\mu'-1)(f-g)(r'+\rho')-r'\rho'\}^2}.$$

Hier muß das letzte Glied verschwinden, also vermöge des

$$\text{Werthes von } df, \frac{d\mu \cdot r r'^2 \cdot \rho \rho'^2}{(r+\rho)(\mu-1)^2} = d\mu' (f-g)^2 r' \rho' (r'+\rho')$$

seyn. Wäre g gegen f so klein, daß man es weglassen könnte, so würde vermöge des Werthes von f

$$\frac{d\mu (r+\rho)}{r \rho} = \frac{d\mu' (r'+\rho')}{r' \rho'}$$

$$\text{oder } \frac{d\mu}{(\mu-1)f} = \frac{d\mu'}{(\mu'-1)f'}$$

wenn f' die Entfernung des imaginären Brennpuncts für das Concavglas ist.

Hieraus könnte also, bei gegebenem Brechungsverhältnisse für die rothen und violetten Strahlen, die Brennweite f' des eignen Glases so bestimmt werden, daß zwei verschiedenfarbige Strahlen sich genau in einem Punkte vereinigten. Es sey z. B.

Original in the collection of the Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

für Kronglas $\mu = 1,527$, $d\mu = 0,0105$; für Flintenglas $\mu' = 1,631$, $d\mu' = 0,0213$, so würde für $f = 60$ Zoll, $f' = 101$ Z. Die Brennweite der aus beiden Gläsern zusammengesetzten Linse würde $= \frac{+60 \cdot 101}{51} = 119$ Zoll. Man müßte also dem Convexglase eine nur etwa halb so große Brennweite geben, als das zusammengesetzte Glas haben soll.

Diese Bestimmung wird nun zwar wesentlich anders, wenn man auf den Abstand der beiden Gläser von einander Rücksicht nimmt; aber auch dann, vorzüglich wenn man die Abweichung wegen der Gestalt größtentheils zu heben sucht, tritt die Unannehmlichkeit ein, daß man den sphärischen Oberflächen kleinere Halbmesser geben muß, als es in Beziehung auf eine möglichst groß zu erhaltende Oeffnung wünschenswerth wäre. Um dies zu vermeiden, hat man es als vortheilhafter angesehen, das Objectiv aus drei Linsen zusammen zu setzen, nämlich zwei convexen und einer concaven, wo dann die beiden Convexgläser eine größere Brennweite erhalten, als die Entfernung des Zerstreuungspunctes der Concavlinse ist.

Indeß sind auch die Rücksichten, die man auf die Vereinigung der ungleich farbigen Strahlen zu nehmen hat, schon an sich nicht so einfach, als ich sie hier dargestellt habe. Wenn man die äußersten Farbenstrahlen, die rothen und violetten, auch aufs beste vereinigt, so sind dadurch nicht auch die mittlern Strahlen genau in demselben Puncte vereinigt. Hätte man im vorigen Beispiele die rothen Strahlen mit den grünen, für welche $d\mu = 0,0065$, $d\mu' = 0,0128$ ist, genau vereinigen wollen, so würde zu $f = 60$, $f' = 99$ gehören, und ein Concavglas von 101 Zoll Zerstreuungswerte würde die mittlern Strahlen keineswegs genau mit den rothen und violetten vereinigen.

23. Da ich die weitere Ausführung dieses Gegenstandes dem Artikel *Linsengläser, achromatische*, vorbehalte, so will ich hier nur noch kurz einige Hauptrücksichten, die man bei der Brechung genommen hat, und einige Vorschläge über die anzuwendenden Körper anführen. Ein gutes zusammengesetztes Objectiv soll so beschaffen seyn, daß zugleich die *Abweichung wegen der Kugelgestalt* und wegen der *Farbenzerstreuung* möglichst gehoben werde. Dieses zu erreichen, hat man verschiedene Anordnungen vorgeschlagen, unter denen die von KLÜGEL: daß man die Krümmungen der Gläser möglichst klein

nehmen solle, lange Zeit vorzüglich beachtet worden ist. Aber KLÜGEL selbst fand später, daß das von ihm vorgeschlagene Objectiv noch sehr erhebliche Abweichungen für die Strahlen gebe, die nicht nahe bei der Axe einfallen. Er änderte daher seine Vorschläge dahin ab, daß man die Halbmesser der beiden Oberflächen der vorderen, convexen Linse so wählen solle, daß die Brechung an beiden ziemlich gleich sey, indem dadurch die Winkelabweichungen der Randstrahlen auf beiden Seiten zusammen genommen, ein Kleinstes werden. Die Abweichung der Randstrahlen bei der ersten Linse müsse dann bei der dritten Brechung völlig gehoben werden, und die vierte Fläche müsse so gewählt werden, daß sie die Zerstreung der ungleich farbigen Strahlen aufhebe, und man erhalte so Bestimmungen für alle vier Radien¹.

Zu diesen Vorschlägen haben BOHNENBERGER und GAUSS einige wichtige Bemerkungen hinzugefügt. GAUSS bemerkt nämlich, daß KLÜGEL's Gründe für die Wahl der beiden ersten Halbmesser vorzüglich auf den Zweck, die Abweichung wegen der Gestalt zu heben, hinausgehen; aber es erhelle nicht ganz, daß dieses auf die angegebene Weise am besten geschehe, und es scheine auch ungewiß, ob nicht die übrigen Unvollkommenheiten noch wichtiger wären. Er billigt daher BOHNENBERGER's Vorschlag, die uns frei gelassene Wahl der beiden Halbmesser des ersten Glases zur Wegschaffung der Farbenzerstreung bei den Randstrahlen zu benutzen, und empfiehlt dieses um so mehr, da BOHNENBERGER's Rechnung zeige, daß die Abweichung wegen der Gestalt darum doch nicht erheblich zunehme. Aber GAUSS bemerkt, daß sich noch mehr erhalten lasse, es sey nämlich möglich, alle Strahlen von zwei bestimmten Farben, sowohl die nahe bei der Axe, als die in einer bestimmten Entfernung von der Axe auffallenden mit ihr parallelen Strahlen in einen einzigen Punct zu vereinigen; dann aber müssen beide Linsen convex-concav werden und die convexe Seite dem Gegenstande zukehren; dabei kommen zwar gröfsere Brechungen vor, aber die Vereinigung aller mit der Axe parallel einfallenden Strahlen wird vollkommener, als bei irgend einer andern Einrichtung².

¹ Gilb. XXXIV. 265.

² Astron. Zeitschrift von v. Lindenau und v. Bohnenberger. I. 385. IV. 345. Gilb. LIX. 188.

IV. Bd.

Neben diesen, in der Ausübung zwar noch nicht erprobten, aber sehr wichtig scheinenden Bemerkungen, verdient endlich auch FRAUNHOFER'S Vorschrift hier erwähnt zu werden. Er bemerkt unstreitig mit Recht, daß die Nachtheile, die aus den verschiedenen, nicht ganz vereinigten Farbenstrahlen entstehen, desto bedeutender seyn müssen, je lichtvoller diese Strahlen selbst sind; man müsse daher statt des Verhältnisses der Zerstreuung für bestimmte, z. B. die äußersten Strahlen, dasjenige in die Rechnung bringen, welches der Einwirkung der sämtlichen Strahlen am angemessensten sey. Ich werde hierauf in Art. *Linsengläser* zurück kommen¹.

Endlich will ich hier noch BLAIR'S *aplanatische* Fernröhre erwähnen². Die große Farbenzerstreuung in einigen flüssigen Körpern brachte ihn auf den Versuch, die Stelle des concaven Glases durch einen zwischen zwei convexe Gläser eingeschlossenen flüssigen Körper zu ersetzen. Concentrirte Spießglaubutter, welche ungemein große Farbenzerstreuung gewährt, gab ein farbenloses, aber wegen ihrer ungleichen Dichtigkeit doch streifiges und unbrauchbares Bild der Gegenstände. Bei Versuchen mit andern Flüssigkeiten fand BLAIR, daß dieses nicht die einzige und nicht die bedeutendste Schwierigkeit sey, sondern die schon erwähnte Ungleichheit in der Farbenzerstreuung, vermöge welcher nicht allemal die mittlern Strahlen eben so von den rothen und violetten im einen Körper wie im andern abweichen, zeigte, daß auch auf diese Weise der Zweck, völlig farbenlose Fernröhre zu erhalten, nicht zu erreichen sey. FRAUNHOFER führt noch einen neuen Grund gegen den Gebrauch flüssiger Körper statt der einen Glaslinse an, nämlich, daß sie bei den geringsten Veränderungen der Temperatur einen Mangel an Homogenität zeigen und daher undeutliche Bilder machen.

24. An die eben angestellte Untersuchung schließt sich die schon von D'ALEMBERT aufgeworfene Frage an, ob man nicht mit einem einfachen Objective und einem einfachen, aber concaven Oculare, welches aus einer stärker zerstreuenden Materie verfertigt wäre, die Farbenzerstreuung aufheben könne. Um das zu thun, müßte das Augenglas so gewählt werden

1 FRAUNHOFER über Brechung und Farbenzerstreuung verschiedener Glasarten in den Schriften der Münchener Gesellschaft.

2 Gilb. Ann. VI. 129. Transact. of the Edinb. Soc. Vol. 2.

können, daß sein Zerstreuungspunct für die violetten Strahlen genau so weit von dem Zerstreuungspuncte der rothen Strahlen entfernt läge, als der Brennpunct der rothen Strahlen des Objectivs von dem Brennpuncte der violetten Strahlen desselben. Aber hier liegt offenbar eine große Schwierigkeit darin, daß man bei der kleinen Entfernung des Zerstreuungspunctes für das Ocular eine eben so große Differenz, als bei der großen Entfernung des Brennpunctes für das Objectiv verlangt, und doch jene klein, diese groß fordern muß, um eine erhebliche Vergrößerung zu bewirken. Diese Schwierigkeit ist Ursache, daß man von einer solchen Anordnung nie Gebrauch gemacht hat, aber BREWSTER hat gezeigt, daß ihre Anwendung nicht ganz unmöglich wäre.

Es sey $f = \frac{r\varrho}{(\mu-1)(r+\varrho)}$ die Brennweite des Objectivs für die rothen Strahlen,

$$f - df = \frac{r\varrho}{(\mu-1)(r+\varrho)} - \frac{r \cdot \varrho \cdot d\mu}{(\mu-1)^2 (r+\varrho)}$$

für die violetten Strahlen; und eben so sey für das Ocular

$$f' = \frac{-r'\varrho'}{(\mu'-1)(r'+\varrho')}$$

jenen, und

$$f' + df' = \frac{-r'\varrho'}{(\mu'-1)(r'+\varrho')} + \frac{r'\varrho' d\mu'}{(\mu'-1)^2 (r'+\varrho')}$$

diesen angemessen, also da

$df = df'$ seyn muß

$$\frac{f \cdot d\mu}{(\mu-1)} = \frac{f' d\mu'}{(\mu'-1)}$$

Wollte man ein solches Fernrohr mit einem Objective von Kronglas, wo $\frac{d\mu}{\mu-1} = 0,02$, und einem Oculare von Flintglas, wo $\frac{d\mu'}{\mu'-1} = 0,034$ ausführen, so wäre $f' = \frac{10}{17} f$ und die Vergrößerung nur 1,7 fach, also höchst schwach. Aber wenn man sich zum Objective des Bergkrystalls bedienen, und statt des Augenglases eine hohle, mit Cassia - Oel gefüllte Linse anwenden wollte, so hätte man

$$\mu = 1,562, \quad d\mu = 0,014,$$

$$\mu' = 1,641, \quad d\mu' = 0,089$$

und $f' = \frac{25}{139} f$, die Vergrößerung = 5,6. Eine solche Ver-

größerung könnte für Taschenfernrohre und Nachtfernrohre ausreichen, indess wäre noch zu untersuchen, ob die so zusammengesetzte Ocularlinse nicht einen großen Lichtverlust gäbe, wie es freilich die aus zweierlei Glasarten zusammengesetzte Objectivlinse auch thut¹.

26. Eine andere wichtige Frage, deren Beantwortung nothwendig hierher gehört, ist die, ob man mit Hülfe mehrerer Oculare etwas thun könne, um die Farbenränder aufzuheben, die durch die Oculare selbst hervorgebracht werden.

Wenn gleich das Objectiv achromatisch ist und also von *einem* Punkte ausgehende Lichtstrahlen, auch ganz genau in *einem* Punkte des Bildes vereinigt werden, so kann doch dieses Bild in Beziehung auf ein einfaches Ocular nicht zugleich in dem den rothen und in dem den violetten Strahlen entsprechenden Brennpuncte des Oculars liegen, und wenn es da liegt, wo der Brennpunct der mittlern Strahlen sich befindet, so geben die äußersten ein gefärbtes Nebenbild. Sehen wir hier zuerst auf einen Punct in der Axe, so kann bei diesem wohl einige Undeutlichkeit, aber keine Färbung statt finden; denn indem die gelben und grünen Strahlen das Auge parallel treffen, die rothen ein wenig divergirend, die violetten ein wenig convergirend auf das Auge fallen, so bringen diese letzteren zwar eine Undeutlichkeit hervor, indem sie, ziemlich so wie oben durch Figur 32. erläutert ist, einen Kreis auf der Retina darstellen; aber da dieser Kreis von zerstreuten rothen Strahlen eben so gut, als von zerstreuten violetten Strahlen getroffen wird, so giebt er uns keine vorherrschende Empfindung einer Farbe. Anders verhält es sich mit den Strahlen, welche von Puncten aufser der Axe zum Auge gelangen.

Wir betrachten auch hier nur die durch die Mitte des Objectivs gehenden Hauptstrahlen, unter denen pC von einem gegen die Grenze des Gesichtsfeldes liegenden Puncte herkommen mag. Das Bild dieses Punctes liegt in f , aber unter den von ihm auf das Ocular gelangenden Strahlen wird nur EO , der Strahl, dessen Brechung die mittlere ist, das Auge O erreichen, die blauen und violetten Strahlen gehen nach Eo fort, und das Auge sieht etwas weiter von der Axe entfernt in der Richtung Oe parallel mit oE ein blaues Nebenbild. Hier ist offenbar

¹ BREWSTER on new philos. Instruments p. 420. Gilb. L. 301.

EOe als Differential des Winkels ROE anzusehen, und da $RO = \frac{g}{g-f'}$, war, wenn $CR = g$ den Abstand beider Gläser von einander bezeichnet, und f' des Oculars Brennweite, so ist $ROE = \varphi \left(\frac{g}{f'} - 1 \right)$, wenn φ den Winkel $SCp = FCf$ bedeutet. Hier ist φ unveränderlich und auch g ist es, wenn man die Stellung der Gläser nicht als abhängig von der Brennweite des Oculars ansieht; also $EOe = \frac{-g\varphi df'}{f'^2}$. und da $g\varphi$ gleich dem Halbmesser $= h'$ des Oculars für die am Rande des Oculars durchgehenden Strahlen ist, so kann man auch

$$ROE = \frac{h'}{f'} - \varphi \text{ und } EOe = d \cdot \frac{h'}{f'}$$

Beim astronomischen Fernrohre mit *einem* Oculare ist $g = f + f'$, der Summe der Brennweiten beider Gläser gleich, daher $ROE = \frac{f\varphi}{f'}$ und $EOe = -\frac{f\varphi df'}{f'^2} = \frac{f\varphi}{f'} \cdot \frac{d\mu'}{(\mu' - 1)}$,

weil $f' = \frac{r' \varrho'}{r' + \varrho'}$ $\left(\frac{1}{\mu' - 1} \right)$ ist, die Abweichung ist also dem Abstände des gesehenen Punctes vom Mittelpuncte des Feldes proportional, und man kann deshalb es nöthig finden, das Gesichtsfeld zu beschränken, damit jene Abweichung nicht für die am Rande liegenden Gegenstände zu erheblich werde.

Um zu übersehen, woher der Lichtstrahl eO zum Auge kommt, muß man überlegen, daß nur die mittleren Strahlen EO parallel unter sich zum Auge gelangen, daß dagegen die violetten, weil F weiter als der Brennpunct der violetten Strahlen von R entfernt liegt, ein Bild Hh darstellen würden; gegen den Punct h also convergiren diese Strahlen und p'cfe ist der Weg desjenigen Lichtstrahls, der in eO zum Auge kommt. Der leuchtende Punct, dessen Bild f ist, erscheint also vermöge seiner mittlern Strahlen dem Auge nach OE, vermöge seiner blauen Strahlen nach Oe, und zeigt sich also mit blauem Rande nach der äußern Seite des Gesichtsfeldes verlängert. Wäre es ein einzelner leuchtender Punct, so würde er auch nach der innern Seite des Gesichtsfeldes ein rothes Nebenbild zeigen; nimmt aber der helle Gegenstand, etwa wie der Mond, den ganzen mittlern Theil des Feldes ein, so hat er rund um sich einen blauen Rand, der desto merklicher ist, je näher die

Grenze des leuchtenden Gegenstandes der Grenze des Gesichtsfeldes liegt.

27. Dieser blaue Rand kann durch ein zweites Ocular zwar verschlimmert, aber bei richtiger Stellung desselben auch verbessert werden. Es ist nämlich einleuchtend, daß wenn ein zweites Augenglas die Vergrößerung vermehrt, es auch diesen Winkel EOe in eben dem Verhältnisse vergrößern würde, wenn EO , eO gleichartige Strahlen wären, daß aber nun entweder noch eine Vermehrung hinzukommen oder eine Verminderung statt finden kann, wegen der ungleichen Brechung, welche die verschiedenartigen Strahlen im zweiten Oculare leiden. Um diese Abweichung richtig zu beurtheilen, dient folgende Betrachtung. Der Lichtstrahl EO falle auf das zweite Ocular Gg und schneide wieder die Axe in O' , wo also nun das Auge seinen Platz einnehmen müßte, um alle durch die Mitte des Objectivs gehenden Strahlen zu erhalten. War hier $RCE = \varphi$,

$$CR = g, RE = h' = g \cdot \varphi, \text{ so ist } ROE = \frac{g\varphi}{OR}, \text{ oder}$$

$$ROE = \varphi \frac{(g - f')}{f'}, \text{ und wenn } RG = K \text{ ist, } Gg = h'' = OG \cdot ROE$$

$$\text{oder } h'' = \left(K - \frac{gf'}{g - f'} \right); \frac{\varphi}{f'} (g - f') = \frac{K\varphi (g - f')}{f'} - g\varphi,$$

$$\text{und } g O'G = \frac{\varphi (g - f')}{f' f''} \left(K - f'' - \frac{gf'}{g - f'} \right),$$

$$\text{welches} = \frac{h''}{f''} - \frac{h'}{f'} + \varphi \text{ ist.}$$

Offenbar wird hier die Abweichung für einen gegebenen Werth von φ durch $d \cdot \frac{h''}{f''} - d \cdot \frac{h'}{f'}$ bestimmt, aber h'' muß dann so genommen werden, wie es der am Rande des ersten Oculars durchgehende Strahl fordert, und es ist nun offenbar, daß da wo $d \cdot \frac{h''}{f''} - d \cdot \frac{h'}{f'} = 0$ wäre, sich die hier betrachtete farbige Erscheinung ganz aufheben würde.

Um diese Formel zu entwickeln, müssen wir sie mit den Hauptgrößen, die bei den Gläsern vorkommen, in Verbindung zu setzen suchen; ich nenne also $g = f + l$, wo dann f des Objectivs Brennweite, l der Abstand des Bildes vor dem zweiten Glase ist, k dagegen wird $l' + f''$, wenn l' des nächsten Bildes

Abstand hinter dem zweiten Glase bezeichnet; denn dieses Bildes Abstand vom dritten Glase muß der Brennweite des letztern gleich seyn. Dann ist $h' = \varphi (f+1)$, und h'' wird daraus gefunden, daß der Vereinigungspunct der durch die Mitte des Objectivs gehenden Strahlen, und die Entfernung $= \frac{(f+1)f'}{f+1-f'}$

hinter dem zweiten und um $f'' + l' - \frac{(f+1)f'}{f+1-f'}$ vor dem dritten Glase liegt, die letztere aber ist wegen $l' = \frac{1f'}{1-f'}$,

auch $= f'' + \frac{ff'^2}{(1-f')(f+1-f')}$. Da nämlich h' und h'' als rechtwinkliche Katheten zweien gleichen Winkeln gegenüberstehen, in Triangeln, deren andere Katheten die eben erwähnte Größe haben, so ist $\frac{h'(f+1-f')}{f'(f+1)} = \frac{h''}{f'' + \frac{ff'^2}{(1-f')(f+1-f')}}}$

oder $h'' = \left(\frac{h'}{f'} - \frac{h'}{f+1} \right) \left(f'' + \frac{ff'^2}{(1-f')(f+1-f')} \right)$

oder $h'' = \frac{h'f''}{f'} - \varphi \cdot f'' + \frac{\varphi \cdot f f'}{1-f'}$, welches auch durch

$h'' = \frac{h'f''}{f'} - \varphi f'' + \frac{\varphi f l'}{1}$, ausgedrückt werden kann. Nach dem Vorigen soll nun, damit der farbige Rand verschwinde,

$$d. \frac{h''}{f''} = d. \frac{h'}{f'} \text{ seyn,}$$

und es ist d. $\frac{h''}{f''} = d. \left\{ \frac{h'}{f'} - \varphi + \frac{\varphi f l'}{1 f''} \right\}$.

Hier ist nun zwar bisher immer angenommen, daß das letzte Bild in dem Brennpuncte des dritten Glases liege, aber da l' einen andern Werth hat für die violetten als für die mittlern Strahlen, so kann jene Voraussetzung nicht für alle Strahlen zugleich statt finden, und ich werde daher l'' statt f'' schreiben.

Die weitere Rechnung führe ich nach KLÜGEL's Anleitung¹, obgleich das einfache Resultat billig auf einem einfachern Wege, den ich jedoch nicht auffinden kann, sollte gefunden werden. Um den Werth d. $\frac{h''}{f''} - d. \frac{h'}{f'}$ = der Abweichung,

¹ Dioptrik §. 166.

richtig zu entwickeln, muß man sich zuerst erinnern, daß $h' = \varphi(f+1)$ ist, wo 1 negativ würde, wenn das zweite Glas schon vor dem Bilde stände; den Werth von h'' habe ich eben angegeben. Wenn man in dieser Formel auch f als veränderlich ansieht und bedenkt, daß 1 sich um eben so viel vermindert, als f sich vergrößert, oder $df = -d1$, und eben so $d1'' = -d1'$ ist, so erhält man

$$dh'' = l'' \cdot d \cdot \frac{h'}{f'} + d1' \left\{ \varphi - \frac{h'}{f'} + \frac{\varphi f}{1} \right\} + df \left\{ \frac{f+1}{1^2} \right\} \varphi l';$$

Hier ist das Glied, welches df enthält,

$$= \frac{h' \cdot l'}{1^2} df = - \frac{h' l' \cdot d1}{1^2} \text{ oder} \\ = - h' l' \left\{ \frac{df'}{f'^2} - \frac{d1'}{1^2} \right\},$$

weil $\frac{1}{1} = \frac{1}{f'} - \frac{1}{1}$ ist. Eben so ist der in $d1'$ multiplicirte

Theil $= \varphi \left(\frac{f+1}{1} \right) - \frac{h'}{f'} = h'' \left(\frac{1}{1} - \frac{1}{f'} \right)$, also endlich

$$dh'' = l'' \cdot d \cdot \frac{h'}{f'} - \frac{h' \cdot l' \cdot df}{f'} + \frac{h' \cdot d1'}{1} + \frac{h' \cdot d1'}{1} - \frac{h}{f'} d1';$$

hier ist aber das in $d1'$ Multiplicirte selbst $= 0$ und

$$dh'' = l'' \cdot d \cdot \frac{h'}{f'} - \frac{h' l' \cdot df}{f'^2}.$$

Die gesammte Abweichung $= d \cdot \frac{h''}{f''} - d \cdot \frac{h'}{f'}$, läßt sich nun ausdrücken, und das um so leichter, da für die mittlern Strahlen, also nach vollendeter Differentiirung überall, $1'' = f''$ gesetzt werden darf, wonach $\frac{f'' \cdot dh'' - h'' \cdot df''}{f''^2} = d \cdot \frac{h'}{f'}$ übergeht in $d \cdot \frac{h'}{f'} - d \cdot \frac{h'}{f'} - \frac{h''}{f''} \cdot \frac{df''}{f''} - \frac{h'}{f'} \cdot \frac{l'}{f''} \cdot \frac{df'}{f'}$, oder nach No. 25. in $\frac{h''}{f''} \left(\frac{d\mu''}{\mu''-1} \right) + \frac{h'}{f'} \cdot \frac{l'}{f''} \cdot \left(\frac{d\mu'}{\mu'-1} \right)$.

Dieses einfache Resultat ist nun genau das schon aus bloßer Ueberlegung hergeleitete. Die Abweichung der brechbarsten Strahlen betrug im ersten Ocular $\frac{h'}{f'} \left(\frac{d\mu'}{\mu'-1} \right)$ und diese kommt hier in dem Verhältniß $\frac{1}{f''}$ vergrößert vor, weil jeder

Theil des Bildes, der durch das erste Glas unter einem gewissen Sehwinkel erschien, durch das zweite in eben dem Verhältniß vergrößert erscheint; aber nun kommt noch, additiv oder subtractiv, die Abweichung im zweiten Ocular hinzu, und ob das eine oder andere der Fall sey, richtet sich darnach, ob der Punkt, wo die Hauptstrahlen sich durchkreuzen, zwischen beiden Ocularen oder jenseits liegt.

Ein Beispiel zu diesen Untersuchungen giebt das in No. 12. betrachtete astronomische Fernrohr mit zwei Ocularen. Dort war $l' = f''$, und da wir beide Oculare als aus einerlei Glasart gemacht, annehmen können, so ist $\frac{d\mu''}{\mu''-1} = \frac{d\mu'}{\mu'-1}$. Da ZO dort negativ war, so liegt O nicht zwischen beiden Ocularen, sondern jenseits und $\frac{h''}{f''} - \frac{h'}{f'} \cdot \frac{l'}{f''}$ könnte freilich für $l' = f''$ nicht ganz $= 0$ werden, aber in den dort berechneten Angaben ist $\frac{h''}{f''} = \frac{h'}{f'} \left(\frac{2f + 3f'}{2f - f'} \right)$ so wenig von $\frac{h'}{f'}$ verschieden, daß der blaue Rand fast völlig aufgebohen wird. Hier erhellet nun auch, warum bei dem in No. 17. beschriebenen Fernrohre mit zwei wirklichen Bildern das Aufheben des blauen Randes nicht statt findet.

28. Wie die Abweichung bei drei Ocularen bestimmt wird, will ich nicht mit gleicher Umständlichkeit aufsuchen. Es erhellet, daß die für zwei Gläser gefundene, in Verhältniß der dem dritten Glase zugehörnden Vergrößerung vermehrt wird, und dann die Abweichung, welche dem dritten Glase allein angehört, hinzukommt. Die gesammte Abweichung bei drei Gläsern ist demnach, wenn l''' der Abstand des vom zweiten Ocular hervorgebrachten Bildes von diesem Glase und f''' eben des Bildes Abstand vom dritten Oculare bezeichnet,

$$= \frac{h'}{f'} \frac{l''}{f''} \cdot \frac{l'''}{f'''} \left(\frac{d\mu'}{\mu'-1} \right) + \frac{h''}{f''} \cdot \frac{l'''}{f'''} \left(\frac{d\mu''}{\mu''-1} \right) + \frac{h'''}{f'''} \left(\frac{d\mu'''}{\mu'''-1} \right),$$

und die Brüche $\frac{d\mu}{\mu-1}$ können für gleich angesehen werden, wenn man sich zu allen Ocularen derselben Glasart bedient.

Um zu prüfen, wiefern die Aufhebung der blauen Ränder bei denjenigen Abmessungen des gewöhnlichen Erdfernrohres statt findet, die ich in No. 19. angegeben habe, müßte man,

wenn alle Oculare aus einerlei Glasart sind, die Abweichung für ein astronomisches Fernrohr, dessen Ocular aus eben der

Glasart ist, berechnen, und diese Abweichung $= \frac{f\varphi}{f'} \left(\frac{d\mu}{\mu-1} \right)$,

als Vergleichungsmaß für die übrigen Anordnungen der Gläser gebrauchen. Bei dem in No. 19. betrachteten Erdfernrohre fällt das Bild, das hinter dem ersten Ocular entstehen sollte, ins Unendliche hinaus, und l' ist daher, so wie $l' = \infty$ aber der Quotient $\frac{l'}{l''}$ ist $= -1$, weil l'' an die Seite fällt, wo es in

dem von uns angenommenen Normalfalle nicht lag; aber auch h''' erhält das entgegengesetzte Zeichen, daher wird der Bruch $\frac{d\mu}{\mu-1}$ mit $\frac{h'}{f'} \frac{f''}{f'''} - \frac{h''}{f'''} + \frac{h'''}{f''}$ multiplicirt,

und da $h' = h'' \left(\frac{f+f'}{f-f'} \right)$ und $h''' = h'' \left(\frac{f-2f'-2f''}{f-f'} \right)$ und auch noch $f''' = f'$ ist, so wird jener Multiplicator $=$

$$\begin{aligned} & h'' \left\{ \frac{f+f'}{f'(f-f')} - \frac{1}{f'} + \frac{f-4f'}{f'(f-f')} \right\}, \\ & = \frac{h''}{f'} \left\{ \frac{f-2f'}{f-f'} \right\} \\ \text{oder} & = \frac{h'}{f'} \left\{ \frac{f-2f'}{f+f'} \right\} \\ & = \frac{\varphi(f-2f')}{f'}, \end{aligned}$$

also nicht so sehr vermindert, als man wünschen möchte. Auch bei dem in No. 20. betrachteten Fernrohre ist die Farbenzerstreuung nicht ganz aufgehoben, und daher das Erdfernrohr mit 4 Ocularen vorzuziehen, wofür ich hier jedoch die Rechnung nicht durchführen will, da dieses ohne erhebliche Weitläufigkeit nicht geschehen könnte.

Einige Bemerkungen über die Einrichtung und Aufstellung der Fernröhre.

29. Mit der Kunst, Fernröhre zu verfertigen, bin ich zu wenig vertraut, um darüber hier etwas zu sagen; ich begnüge mich daher mit einzelnen Bemerkungen, die auch für denjenigen wichtig sind, welcher bloß die Anordnung des Fernrohrs verstehen lernen will.

Ich habe schon früher erwähnt, wie nöthig es sey, daß die Mittelpunkte aller der Kugelflächen, welchen die einzelnen Oberflächen der Linsengläser angehören, genau in gerader Linie ^{Fig. 37.} liegen. Wenn dieses nicht der Fall ist, so fällt des Glases A Brennpunct in b , und darauf gründet sich ein Mittel, dieses Centriren genau zu bewirken, dessen sich die Künstler jetzt nach FRAUNHOFER'S Anleitung gern bedienen. Man bringt nämlich das Fernrohr so auf die Drehbank, daß des Fernrohrs Axe mit der Drehungsaxe genau zusammen fällt, und sieht nun durch die Gläser auf einen entfernten Gegenstand; liegt der Brennpunct des Objectivs so wie b , so wird bei der Drehung der Brennpunct um den ganzen Schewinkel $bD\beta$ seine Lage ändern und der Gegenstand scheint sich in starkem Mafse zu erhöhen und zu senken. So lange dieses der Fall ist, muß die Lage des Glases, dessen Stellung Schuld hieran ist, berichtigt, und dieses erst dann fest gestellt werden, wenn das Tanzen des Gegenstandes völlig aufhört. Wie man die Centrirung eines zusammengesetzten Objectivs dadurch bewirken kann, daß man die von den einzelnen Flächen dargestellten Spiegelbilder genau in eine gerade Linie bringt, hat WOLLASTON gezeigt¹. Man bringt ein Licht hinter das Objectiv und besieht dieses durch das Rohr mit Weglassung aller Augengläser; dann zeigen sich aufser dem Bilde, welches vom convexen Linsengläse hervorgebracht wird, jene durch Spiegelung an den Oberflächen entstehenden Bilder, deren mehrere man leicht gewahr wird. WOLLASTON hat die bei einem dreifachen Objective entstehenden 15 Bilder alle gesehen. Da man aus theoretischen Gründen den Ursprung jedes einzelnen Bildes kennt, so kann man, wenn bestimmte Bilder sich von der geraden Linie entfernen, schon beurtheilen, wie dasjenige Glas, dem sie ihren Ursprung verdanken, durch Stellschrauben anders gestellt werden muß, um berichtigt zu werden. Wenn man bei einem guten Objective sich genöthigt sieht, die Gläser, aus denen es zusammengesetzt ist, aus einander zu nehmen, so thut man wohl, durch ein Zeichen am Rande die Stellung, die sie hatten, kenntlich zu machen, um sie nachher so wieder zu vereinigen, wie sie vereinigt gewesen waren.

30. Ich muß noch etwas über die *Blendungen*, die man mitten im Fernrohr findet, und über das *Fadenkreuz* sagen.

¹ Gilb. LXXIII. 264.

Die Blendungen haben da ihren Platz, wo die durch die Mitte des Objectivs gehenden Hauptstrahlen die Axe des Fernrohrs schneiden. Die durch den wahren Mittelpunkt des Objectivs gehenden Strahlen kommen dort in einen einzigen Punkt zusammen, aber die Oeffnung der Blendung muß dennoch kein bloßer Punkt, sondern hinreichend seyn, um so viel Strahlen als nöthig sind, um hinreichendes Licht zu geben, durchzulassen.

Das *Fadenkreuz* dient, um den genauen Mittelpunkt des Fernrohrs und zwei auf einander senkrechte Durchmesser des Gesichtsfeldes zu bezeichnen. Es ist *im Brennpuncte des letzten Oculars* angebracht, weil da dieser wirkliche Gegenstand unmittelbar neben dem letzten Bilde liegend, deutlich gesehen wird. Die Fäden werden zugleich erheblich vergrößert gesehen, weil die Brennweite des letzten Oculars, (welches zu diesem Zwecke freilich ein *convexes* seyn muß) allemal klein in Vergleichung gegen die Weite des gewöhnlichen Sehens ist. Man bedient sich der *Spinnewebefäden* oder sehr feiner *Metallfäden*. In Hinsicht auf die erstern setzte ich hierher eine, mir schon vor geraumer Zeit [von dem berühmten Astronomen BESSEL hand-

Fig. 38. schriftlich mitgetheilte Anleitung, wie diese in das Fernrohr eingezogen werden. „Man nimmt den Ring, an welchem die Fäden ausgespannt werden sollen, aus der Ocularröhre heraus und läßt durch einen Uhrmacher oder Mechanicus mit einem Grabstichel auf seiner Peripherie Linien ziehen, die durch den Mittelpunkt gehen und auf einander senkrecht sind. Sollen mehrere Parallelfäden eingezogen werden, so dienen dazu die übrigen in der Figur angezeigten Linien. Man feilt dann den Grat ab, und schleift da, wo in der Zeichnung die Schattirung ist, etwas Metall weg. Dann sucht man ein Spinnennest (in den Monaten am Ende des Winters findet man diese häufig an dunkelen, mit der freien Luft in Verbindung stehenden Orten) zieht einen Faden heraus, und fährt einige Male mit dem Daumen und Zeigefinger daran herab, um ihn vom Staube zu befreien, am besten indem man ihn mit einer Cirkelspitze, woran sich etwas Klebwachs befindet, fest hält, und das Nest herabhängen läßt. Man spannt dann einen Theil des Fadens zwischen beiden Cirkelspitzen aus, indem man eine zureichende Länge des Fadens zwischen ihnen mit Klebwachs befestigt, und indem man so den nur mäßig angespannten reinen Faden zwischen den Cirkelspitzen hält, behaucht man ihn, um ihn nun

noch etwas stärker anzuspannen. Dann legt man den Ring, worin er eingespannt werden soll, auf einen Tisch, auf welchem ein Blatt schwarzen Papiers befindlich ist, und legt den Cirkel so darüber weg, daß der Faden einer der darauf gezeichneten Linien entspricht. Ist er schon stark genug gespannt, so kann man ihn sogleich festkleben, und dieses geschieht am besten dadurch, daß man ein nicht scharfes eisernes Instrument, z. B. einen Schraubenzieher, mit hölzernem Hefte, im Lichte erhitzt, dann etwas Wachs an die Spitze bringt, und dann wieder so stark erhitzt, bis dieses anfängt zu verdampfen; dadurch wird das Wachs im höchsten Grade flüssig, und man kann hiermit den Faden sehr gut befestigen; — daß der Schraubenzieher nicht an der Spitze ins Licht gekommen und beräuchert seyn muß, versteht sich von selbst. Ist der Faden noch nicht gespannt genug gewesen, so reißt man ihn, nachdem nur das eine Ende angeklebt worden, von der andern Cirkelspitze los und spannt ihn, ehe man die zweite Befestigung anbringt, mit der Hand stärker, (dies kann dadurch geschehen, daß man den Ring so sehr belastet, daß der Faden nur noch kaum stark genug ist, ihn fortzuziehen, und indem man dann durch dieses Fortziehen den Faden völlig anspannt), worauf dann die Befestigung, wie vorhin, erfolgt. Um sich zu überzeugen, ob der Faden gut gespannt ist, thut man wohl, ihn nach der Befestigung zu behauchen und schnell mit einer Loupe zu besehen, um gewahr zu werden, ob er selbst im feuchten Zustande hinreichend gespannt bleibt. Wenn alle Fäden eingezogen sind, pflege ich auf die Rinnen, in welchen sie liegen, kleine Punkte von Lackfirnis zu machen, nach dessen Antrocknen das Wachs, wenn es im Wege seyn sollte, weggenommen werden kann. Die zu dieser Arbeit nöthige Uebung erwirbt man sich leicht, wenn gleich der erste Versuch die Geduld wohl oft sehr ermüdet.“ — So weit BESSEL's Anleitung.

Da die gewöhnlichen Metallfäden zu dick sind, um da, wo man sehr genaue Bestimmungen erhalten will, angewandt zu werden, so hat WOLLASTON eine Methode vorgeschlagen und ausgeführt, um sich ungemein feine Fäden zu verschaffen. Es ist bekannt, daß man feine Silberfäden dadurch hervorbringt, daß man einen dickeren Silberstab nach und nach durch immer engere Oeffnungen zieht; durchbohrt man nun diesen noch nicht sehr dünne gezogenen Silberstab nach der Richtung sei-

ner Axe, so daß die Oeffnung ein genaues Zehntel des ganzen Durchmessers ist, und gießt diese Oeffnung mit Golde aus, so läßt sich jetzt der Silberstab mit dem darin enthaltenen Golde weiter ziehen, und man erhält, wenn der Silberfaden $\frac{1}{3000}$ Zoll dick ist, einen Goldfaden von $\frac{1}{3000}$ Zoll Dicke, von welchem 550 Fufs nur 1 Grain wiegen. Um ihn vom Silber zu befreien, legt man ihn einige Minuten in Salpetersäure, die das Silber auflöst, das Gold aber unverändert läßt. WOLLASTON behauptet auf eine ähnliche Art Platindrähte von $\frac{1}{18000}$ Zoll Dicke erhalten zu haben, die doch noch ein Gewicht von $1\frac{1}{2}$ Grain zu tragen vermochten, zugleich aber bemerkt derselbe, daß das Anbringen solcher Drähte an bestimmten Stellen viel Schwierigkeit habe, weil Drähte unter $\frac{1}{1000}$ Zoll Durchmesser nicht mehr mit bloßen Augen sichtbar sind; er rath daher, an ihrem Ende ein wenig Silber übrig zu lassen, damit man sie an den Enden fassen könne¹.

31. Die *Aufstellung* der Fernröhre kann zwar nach Verschiedenheit des Zwecks höchst mannigfaltig seyn, und muß bei jedem bestimmten Instrumente besonders angegeben werden; aber einige Bemerkungen über die Aufstellungen, welche da passend sind, wo man das Fernrohr nur als Fernrohr gebrauchen will, gehören auch hierher. Will man ein Fernrohr mit einiger Annehmlichkeit gebrauchen, so muß es auf einem dreifüßigen Fußgestelle auf einem Tische oder auf dem Fußboden aufgestellt werden können. Hat man nicht die Absicht, es zu sehr genauen Beobachtungen zu gebrauchen, so ist es zureichend, wenn an den Ringen, die das Fernrohr umfassen, eine Nufs angebracht ist, die in eine hohle Kugelform durch Schrauben eingeklemmt festgehalten werden kann. Dadurch ist man im Stande das Fernrohr nach allen Richtungen leicht zu bewegen und es doch auch in bestimmten Richtungen feststehend zu erhalten. Will man das Fernrohr auf Reisen mitnehmen, so kann man statt des zu schweren Fußes nur irgend ein Mittel, um die Hülse der Nufs an einem Baume, Pfahle u. s. w. zu befestigen anbringen.

Will man aber das Fernrohr zu genauen Beobachtungen gebrauchen, will man namentlich den Stern, den man einmal im Felde hat, verfolgen, so bedarf man einer doppelten feinen Be-

¹ Gilb, LII, 289.

wegung, um nach zwei, auf einander senkrechten Richtungen die Stellung des Fernrohrs zu verändern. Bei Fernröhren, die nicht fest aufgestellt, sondern transportabel sind, macht man diese doppelte Bewegung so, daß die eine horizontal, die andere vertical ist. Das Fernrohr kann nämlich um eine auf dem Fuße ruhende verticale Axe gedreht, und dann festgestellt werden; aber bei dieser Feststellung ist die Einrichtung getroffen, daß eine Schraube ohne Ende in Zähne, die auf dem Rande einer horizontalen, mit dem Fernrohre fest verbundenen Scheibe eingeschnitten sind, eingreift, und so das Fernrohr sehr langsam nach horizontaler Richtung fortzieht, wenn man die Stellung nur in dieser Richtung ein wenig ändern will. Zugleich ist der auf der verticalen Axe ruhende Theil der Unterstützung des Fernrohrs mit einer horizontalen Axe versehen, damit das Fernrohr sich in einer verticalen Ebene bewegen oder in allen verschiedenen Neigungen gegen den Horizont aufgestellt werden könne. Hat man es also in die Verticalebene gebracht, in welcher sich der zu beobachtende Gegenstand befindet, so stellt man es höher oder tiefer, so wie es die Lage des Gegenstandes fordert, und hilft durch eine ganz ähnliche feine Bewegung, wie die vorhin beschriebene, nach, um die richtige Stellung völlig zu erreichen. Ist der beobachtete Gegenstand ein Stern, der das Feld des Fernrohrs bald verlassen würde, so müssen beide Schrauben zugleich fortgedreht werden, um der Bewegung des Sternes zu folgen.

Wenn das Instrument an einem bestimmten Orte fest steht, so giebt man der ersten, vorhin verticalen, Axe lieber eine mit der Weltaxe parallele Stellung. Dann ist eine um diese Axe gehende Drehung mit der täglichen Bewegung der Gestirne übereinstimmend, und um einen einmal mitten im Fernrohre befindlichen Stern in der Mitte des Feldes zu erhalten, ist nur die eine Fortbewegung um diese Axe nöthig; die Fortbewegung um die andere Axe dient dann, Sterne aufzufinden, die auf demselben Declinationskreise stehen.

Um das Fortschrauben des Fernrohrs zu vermeiden, was nie mit der Hand so gleichförmig geschieht, daß der Stern genau in demselben Punkte des Feldes bleibt, hat man wohl Uhrwerke angebracht, die das Fernrohr in 24 Stunden um jene der Weltaxe parallele Axe herumführen, und so die Stelle jener fortschraubenden Bewegung vertreten. Die vollkommensten Werke

der Art sind ohne Zweifel die großen *Fraunhofer'schen Refractoren*, bei denen dieses Uhrwerk zwar nicht auf ein so langes Fortgehen eingerichtet ist, aber eine solche Vollkommenheit besitzt, daß der Stern wie befestigt im Felde des Fernrohrs erscheint, und man beim Beobachten gar nicht durch eine zitternde Bewegung gestört wird. Das Uhrwerk kann leicht ausser Verbindung mit der Axe, um die sich das Fernrohr drehen läßt, gesetzt werden, und dann ist man völlig im Stande, dem Fernrohre jede willkürliche Stellung durch freie Drehung mit der Hand zu geben. Stellt man aber die Verbindung mit dem Uhrwerke her, so treibt dieses, wenn man sein Gewicht frei läßt, das Fernrohr mit fort. Ein Gewicht nämlich ist so abgeglichen, daß es allen gegenüberstehenden Theilen und über das auch der Reibung so das Gleichgewicht hält, daß die geringste Vermehrung desselben Bewegung hervorbringen würde. Die Verbindung von Räderwerk, die als Vorlage die Bewegung des ganzen Fernrohrs vermittelt, wenn das Gewicht zu sinken anfängt, kann ich hier nicht beschreiben; es erhellet aber, daß ein geringes Uebergewicht jenem Gewichte zugelegt im Stande ist, die schon völlig aequilibrirte Maschine in Gang zu setzen, und daß dieser Gang ein beschleunigter seyn würde, wenn das Gewicht ohne neues Hinderniß frei herabsänke. Diese beschleunigte Bewegung würde ganz dem Zwecke der gleichmäßigen Fortbewegungen entgegen seyn, und das Werk bedurfte daher eines Regulators, den FRAUNHOFER durch eine bei vermehrter Schnelligkeit vermehrte Reibung zu Stande gebracht hat. Mit dem Uhrwerk nämlich wird eine Unruhe, die zwei schwere Metallmassen an einer elastischen Feder trägt, in schnellen Umschwung gesetzt. Sie befindet sich in einem Gefäße und zwar so, daß jene Massen bei der Ruhe das Gefäß nicht berühren, bei der Drehung aber sich vermöge der Schwungkraft an die Wände andrängen und sich an diesen desto mehr reiben, je schneller die Drehung ist. Durch diese Reibung wird die Beschleunigung der Bewegung, sobald diese einen gewissen Grad erreicht hat, gehindert, und da man durch eine kleine Correction in der Stellung der Metallmassen bewirken kann, daß die Beschleunigung bei einem höhern oder minder hohen Grade von Geschwindigkeit aufhört, so ist es nicht schwer, es so einzurichten, daß die erlangte gleichförmige Geschwindigkeit genau die sey, welche das Fernrohr

erlangen soll. Nach STRUVE's Versicherung entspricht diese Anordnung der *Centrifugal-Unruhe* aufs vollkommenste ihrem Zwecke¹. Ueberhaupt gehören diese größten Fernröhre FRAUNHOFER's zu den Meisterwerken der Kunst, deren Ausführbarkeit man beim Antritt dieses Jahrhunderts noch für unmöglich hielt. Das jetzt in Dorpat befindliche, vermuthlich das letzte, von FRAUNHOFER selbst vollendete, ist 13 Fuls 7 Zoll lang, des Objectivs Brennweite ist 160 Zoll und seine Oeffnung beträgt genau 9 Zoll. Die vier Vergrößerungen sind 140, 210, 320, 480 Mal, wobei die Gesichtsfelder 13',2; 8',0; 5',7 und 4',2 sind. Dieses Instrument leistet auch wirklich das vollkommen, was seine Größe erwarten läßt. STRUVE glaubt, daß es an Schärfe der Bilder alle Spiegelteleskope übertreffe, indess ist die Behauptung, daß es auch größere Lichtstärke besitze, als die großen Spiegelteleskope, noch nicht ganz entschieden², und aus den von STRUVE gegebenen Nachrichten, erhellet nur, daß man die meisten Gegenstände, welche HERSCHEL mit seinen Teleskopen entdeckt hat, auch mit diesem Fernrohre muß auffinden und mit nicht viel geringer Klarheit beobachten können³.

32. Da bei stark vergrößernden Fernröhren allemal das Gesichtsfeld sehr klein ist, so ist es schwierig, einen bestimmten Gegenstand am Himmel aufzufinden, und man bedarf daher bei Fernröhren, die irgend bedeutende Vergrößerung geben, des *Suchers*. Dieses ist ein kleines Fernrohr, welches ein großes Feld hat, und zureichende Lichtstärke bei mäßiger Vergrößerung besitzen muß, um die Gegenstände selbst einigermassen wahrnehmen zu lassen, die man mit dem größern Fernrohr beobachten will, oder doch wenigstens zureicht, um Gegenstände nahe bei den zu beobachtenden aufzufinden. Wenn der Sucher richtig gestellt ist, so muß der Punct, welcher von der Mitte seines Fadenkreuzes verdeckt wird, genau in der Mitte

1 STRUVE Beschreibung des großen Refractors. Dorpat 1825. Fol.

2 Ich behalte daher diese Vergleichung dem Art. *Spiegelteleskop* vor.

3 Da die Utzschneider'sche Werkstatt wohl immer noch diejenige ist, an welche allein man sich, um ausgezeichnet große und vorzügliche Fernröhre zu erhalten, wenden kann, so führe ich einige Schriften an, wo die Preise dieser Fernröhre angegeben sind. DE ZACH corresp. astronomique VI. 94. Astron. Zeitschrift von v. LINDENAU und v. BOHNEBERGER II. 173. Gilb. Ann. LIV. 202.

des Feldes des großen Fernrohrs erscheinen, oder die Axen beider müssen genau übereinstimmen. Will man Gegenstände aufsuchen, die für den Sucher zu klein oder zu lichtschwach sind, so wird man wohl immer einige benachbarte Gegenstände kennen, die man im Sucher wahrnehmen und mit deren Hülfe man den Punct, wo jener Gegenstand stehen soll, in die Mitte des Fernrohrs bringen kann.

Einige besondere Vorschläge zu Fernröhren.

33. BREWSTER's *Fernrohr, um Gegenstände unter Wasser zu sehen*. Da wir die im Wasser befindlichen Gegenstände, bei hinreichender Durchsichtigkeit des Wassers, theils wegen Unebenheiten der Oberfläche, theils weil wir in schiefer Richtung auf die Oberfläche blickend, zu viel zurückgeworfene Strahlen erhalten, nicht gut sehen, so bemerkt BREWSTER erstlich, daß eine ins Wasser mit dem einen Ende eingetauchte, und dort mit einem, senkrecht auf die Axe gestellten Planglase fest gegen das Eindringen des Wassers verwahrte Röhre schon allein zum Sehen der im Wasser befindlichen Gegenstände sehr beförderlich seyn würde. Hier nämlich ist die Richtung des Sehens senkrecht auf die durch das Glas fest bestimmte Oberfläche des Wassers, und diese Oberfläche ist zugleich ganz eben. Zweitens aber, wenn der Boden so entfernt sey, daß man eines eigentlichen Fernrohrs bedürfe, so müsse, fügt BREWSTER hinzu, das Objectiv, welches nun an die Stelle jenes Planglases tritt und wieder die Röhre wasserdicht verschließt, so berechnet werden, wie es den aus Wasser in Glas und aus Glas in Luft übergehenden Lichtstrahlen gemäß ist. Diese Rechnung liefse sich leicht genug anstellen, aber dennoch scheinen dem Sehen unter Wasser manche Schwierigkeiten entgegen zu stehen, da die geringste Trübung das Wasser undurchsichtig und die Erleuchtung in der Tiefe schwach macht, und überdas eine wallende Oberfläche, indem sie viele Strahlen zurückwirft, nur wenige zur Erleuchtung in die Tiefe gelangen läßt¹.

BREWSTER's Vorschläge zu Fernröhren, die zu Bestimmung der Entfernung der gesehenen Gegenstände dienen, gehören

¹ BREWSTER on philosophical Instruments. p. 225. und Gilb. L. 65.

nicht ganz hierher, da sie mit der Theorie der Mikrometer in Verbindung stehen¹.

34. KITCHINER'S *pancratic Eyetube*. Unter diesem Namen eines, alle Vergrößerungen bewirkenden Ocular-Einsatzes kündigte KITCHINER eine Verbesserung der Fernröhre an², von deren wirklicher Anwendung nichts Genaueres öffentlich bekannt geworden ist³. Ich theile hier einen Auszug jener Anzeige mit einigen Bemerkungen mit.

Es ist bekannt, heißt es dort, daß man bei vier Ocularen die Vergrößerung sehr vermehren kann, wenn man die beiden letzten, oder dem Auge nächsten Oculare von einander entfernt, dies kann indeß nur höchstens bis auf eine nicht völlig das Doppelte der gewöhnlichen erreichende, Vergrößerung getrieben werden. Der Verf. dieser Anzeige dagegen habe sich bemüht, diese Steigerung der Vergrößerung weiter zu treiben, und es sey ihm gelungen, durch seinen Ocular-Ansatz, an ein 44 zolliges achromatisches Fernrohr angebracht, die feinsten Doppelsterne schärfer und deutlicher zu zeigen, als es bisher bei irgend einem andern möglich war. Mit einem Dollond'schen Fernrohr von 30 Zoll Brennweite und 2,7 Zoll Oeffnung, liefs sich bei 230maliger Vergrößerung der Stern Castor als Doppelstern deutlich erkennen u. s. w. Ueber die Einrichtung dieses Ocular-Einsatzes wird bloß Folgendes angegeben. Wenn die Fig. 39. drei Röhren A, B und C in die Röhre D ganz eingeschoben werden, so giebt das Fernrohr seine eigenthümliche Vergrößerung, zufolge der Zusammensetzung beider Linsenpaare nach ihren Brennweiten. Soll aber die Vergrößerung vermehrt werden, so muß die bewegliche Röhre A bis zu einer der bemerkten Zahlen ausgezogen werden, die Röhren B, C aber werden nicht eher berührt, bis A ganz ausgezogen ist; sodann wird die zweite Röhre B nach und nach bis zu den bemerkten Zahlen ausgezogen, und endlich die dritte Röhre C. Die Zahlen deuten die anwachsende Vergrößerungskraft des Fernrohrs an, und ver-

1 BREWSTER on ph. Instr. p. 134.

2 Astron. Jahrb. für 1826. S. 177.

3 Vermuthlich findet sich mehr darüber in einem wahrscheinlich von eben dem KITCHINER herausgegebenen Buche: *The Economy of the Eyes; Second Part; of Telescopes, being the Result of 30 Years Experiments with 51 Telescopes from 1 to 9 Inches in Diameter, by Kitchiner* — aber dieses Buch habe ich noch nicht erhalten.

muthlich sind diese Zahlen so zu verstehen, daß die nach der gewöhnlichen Stellung der Gläser erlangte Vergrößerung auf das 1,1 fache, 1,2 fache, 1,3 fache und endlich auf das 4 fache getrieben wird, wenn man die Röhren bis an die Linien 110, 120, 130, und endlich 400 herauszieht.

Hierbei ist nun unstreitig die Behauptung, daß man auf diese Weise geradehin mit jedem Objective eine so ungemein verstärkte Vergrößerung erhalten könne, zu umfassend; denn das Objectiv muß an sich einen gewissen Grad von Vollkommenheit besitzen, um eine starke Vergrößerung zu vertragen, und wenn ein Objectiv von 30 Zoll Brennweite eine 80 malige Vergrößerung auch noch recht gut erlaubt, so wird dennoch nicht allemal auch bei 270 maliger Vergrößerung das Bild noch schön genug ausfallen. Aber allerdings ist es wahr, daß manche Objective, die ursprünglich nur für 40 malige Vergrößerung bestimmt waren oder sich in Fernröhren befinden, denen der Künstler keine stärker vergrößernde Oculare gab, sich noch gut genug für viel stärkere Vergrößerungen zeigen. Solche Objective setzt also KITCHINER voraus, und wir wollen nun ungefähr angeben, wie das Ausziehen der Röhren die Vergrößerung mit der Stellung der Oculare ändert. Die Einrichtung bei diesen veränderlichen Stellungen der Oculare kann verschieden seyn; ich will zwei derselben etwas näher betrachten, erstlich die, wo die drei ersten Oculare in ihren gegenseitigen Stellungen bleiben, und nur das letzte seine Stelle ändert, zweitens die, wo das erste Ocular mit dem zweiten, und das dritte mit dem vierten fest verbunden ist, wo aber der Abstand des zweiten und dritten verändert wird.

Im ersten Falle erhellet sogleich, daß wenn man das vierte Ocular allein herauszieht oder hineinschiebt, kein deutliches Sehen statt finden konnte; denn die Bilder, welche durch das Objectiv und die vereinigten ersten Oculare hervorgebracht werden, blieben dann ganz an derselben Stelle, das letzte also nicht mehr im Brennpuncte des letzten Oculars; es ist daher nöthig, daß auch die Stellung der drei fest verbundenen Oculare geändert werde, und wir wollen die dann entstehende Aenderung der Vergrößerung bestimmen. Des Objectivs Brennweite sey = 30 Zoll = 360 Linien; die Brennweite des ersten Oculars sey = 15 Linien; des zweiten = 12 Linien; des dritten = 18 Linien und des vierten = 12 Linien. Der unveränderliche Ab-

stand des ersten und zweiten Oculars sey 18 Linien, des zweiten und dritten Oculars = 36 Linien. Als ersten Fall setze ich nun den Brennpunct des Objectivs 10 Linien vom ersten Oculare entfernt; dann entsteht das wirkliche Bild in der Entfernung = 6 Linien vom ersten Oculare, und = 12 Linien vom zweiten Ocular, und da es also im Brennpuncte des zweiten Oculars liegt, so fallen die Strahlen parallel auf das dritte Ocular, und sammeln sich in dessen Brennpuncte, der zugleich der Brennpunct des vierten seyn muß. Hier müssen also die beiden letzten Oculare 30 Linien von einander abstehen, und die

$$\text{Vergrößerung ist} = \frac{360}{10} \cdot \frac{6}{12} \cdot \frac{18}{12} = 27 \text{ malig.}$$

Dagegen sey das erste Ocular in die Stellung gebracht, daß der Brennpunct des Objectivs nur 6 Linien hinter dem ersten Oculare liege, dann liegt das wahre Bild = $4\frac{2}{7}$ Lin. hinter dem ersten und $13\frac{1}{7}$ Linien vom zweiten Oculare; die durch das zweite Ocular gehenden Strahlen convergiren jetzt gegen einen Punct, der 113 Linien hinter dem zweiten also 77 Linien hinter dem dritten Oculare liegt; und diese gehen $14\frac{3}{5}$ Linien hinter dem dritten Oculare das zweite wirkliche Bild; damit dieses im Brennpuncte des vierten Oculars sey, müßte dieses um $3\frac{1}{5}$ Lin. hinein geschoben werden, und die Vergrößerung wäre

$$= \frac{360}{6} \cdot \frac{4\frac{2}{7}}{13\frac{1}{7}} \cdot \frac{113}{77} \cdot \frac{14\frac{3}{5}}{12} = 34,2 \text{ fach.}$$

Drittens sey das erste Ocular nur 4 Linien vom Brennpuncte des Objectivs entfernt, also das Bild $3\frac{3}{5}$ Lin. vom ersten und $14\frac{1}{5}$ Linien vom zweiten Oculare entfernt; die aus dem zweiten Oculare hervorgehenden Lichtstrahlen convergiren so, daß sie in $62\frac{2}{3}$ Linien Entfernung sich sammeln würden, wenn sie nicht das dritte Ocular anträfen; dieser Sammlungs-Punct liegt aber $26\frac{2}{3}$ Linien vom dritten Oculare entfernt, und das zweite Bild $10\frac{1}{4}$ Linien von demselben, das vierte Ocular muß also in Vergleichung gegen die erste Stellung $7\frac{1}{4}$ Lin. hereingeschoben werden, und die Vergrößerung ist

$$\frac{360}{4} \cdot \frac{3\frac{3}{5}}{14\frac{1}{5}} \cdot \frac{62\frac{2}{3}}{26\frac{2}{3}} \cdot \frac{10\frac{1}{4}}{12} = 40\frac{1}{3}$$

Diese Beispiele zeigen, wie eine Veränderung in der Stellung zweier Gläser die Vergrößerung ändert; aber nach Schu-

MACHER's Angabe¹ werden die beiden verbundenen letzten Oculare herausgezogen, die beiden ersten zurückgeschoben; und dadurch die Aenderung der Vergrößerung bewirkt. Gehe ich also von dem Falle aus, wo die Vergrößerung die $40\frac{1}{3}$ fache war, und stelle nun das erste Ocular $4\frac{1}{2}$ Linien vom Brennpuncte des Objectivs entfernt, so liegt das erste wirkliche Bild $3\frac{6}{13}$ Linien vom ersten und $14\frac{7}{13}$ Linien vom zweiten Oculare; die auf das zweite Ocular fallenden Strahlen würden nach dem Durchgange durch dieses ein Bild in $68\frac{8}{13}$ Lin. Entfernung hervorbringen, und damit dieses $26\frac{2}{3}$ Lin. hinter dem dritten Oculare liege, müßte dessen Abstand vom zweiten auf 42 Linien gebracht werden, statt daß er vorhin nur 36 war, das ist die beiden letzten Oculare müßten 6 Linien herausgezogen, die beiden ersten $\frac{1}{2}$ Lin. hineingeschoben werden, und es ist nun die Vergrößerung $\frac{360}{4\frac{1}{2}} \cdot \frac{3\frac{6}{13}}{14\frac{7}{13}} \cdot \frac{68\frac{8}{13}}{26\frac{2}{3}} \cdot \frac{10\frac{1}{4}}{12}$ also ungefähr 44 fach.

SCHUMACHER bemerkt aber mit Recht, daß ein besonderer Nutzen dieser Ocularröhren nicht erhelle, einzig den ausgenommen, daß man untersuchen kann, welche Vergrößerung ein gegebenes Objectiv noch gut vertrage; in so fern möchte es den Künstlern, die Fernröhre verfertigen, von einigem Nutzen seyn, die Entfernung der beiden letzten Oculare von den beiden ersten so zu bestimmen, daß die Vergrößerung möglichst stark werde².

B.

Festigkeit.

Soliditas; *Solidité*; *Firmness*, *Solidity*; bezeichnet eine relative Eigenschaft verschiedener Körper, welche deswegen nur relativ ist, weil es kein absolutes Maß oder keine absolute Größe derselben giebt. Diese Bezeichnung wird dann in einem zweifachen Sinne genommen. Entweder bezeichnet Festigkeit (oder besser Starrheit, weswegen auch richtiger starre

¹ Astron. Nachrichten IV. No. 88.

² Als einen Vortheil, den man allenfalls aus dieser Einrichtung ziehen kann, bemerkt doch Kunowsky, daß man bei ungleicher Durchsichtigkeit der Luft, sogleich die angemessenste Vergrößerung, die man gerade brauchen kann, finde. Eine ähnliche Einrichtung des Oculars von Cauchoix, giebt Biot an (Experim. Phys. III. 437.); Cauchoix nennt diese Fernröhre *lunettes polyaldes*.

Körper als feste gesagt wird), diejenige Eigenschaft oder denjenigen Zustand der Körper, vermöge dessen ihre Theile einer ihre Trennung von einander oder Verschiebung über einander bewirkenden Kraft irgend einen meßbaren und meistens sehr bedeutenden Widerstand entgegenzusetzen, in welcher Beziehung diese ihre Beschaffenheit der tropfbaren und gasförmigen Flüssigkeit entgegensteht; oder aber der Ausdruck Festigkeit bezeichnet den größeren und geringeren Grad dieses Widerstandes gegen irgend eine Art der Trennung ihrer Theile, in welchem Falle sie der Zerbrechlichkeit, Zerreißbarkeit, überhaupt der Zerstörbarkeit entgegensteht, und in die absolute, relative, rückwirkende und der Drehung widerstehende Festigkeit abgetheilt wird. In der letzten Bedeutung ist die Sache in gehöriger Vollständigkeit in den Art. *Cohaesion* und *Elasticität* abgehandelt, auch sind in dem ersteren derselben diejenigen Ansichten angegeben, welche man sich von dem Wesen und den Bedingungen dieses Zustandes gemacht hat. Noch einiges, was sich hierüber beibringen läßt, wird am besten unter *Flüssigkeit* und *Gas* abgehandelt werden. Es bleibt somit hier nichts weiter übrig, als die ihres allgemeinen Bekanntseyns wegen fast überflüssige Bemerkung, daß eine scharfe Bezeichnung des Zustandes der Festigkeit, im Gegensatze der Flüssigkeit oft schwierig, wo nicht unmöglich ist, indem man sich leicht in Verlegenheit befinden könnte, ob man z. B. erweichtem Wachse, Pech u. s. w. die Eigenschaft der Festigkeit oder der Flüssigkeit beilegen solle. Eben daher wird aber diese Eigenschaft mit Recht eine relative genannt.

M.

F e u e r .

Ignis; Feu; Fire. Die Bedeutung des Worts *Feuer* hat sich allmählig sehr geändert. In früheren Zeiten bezeichnete dasselbe bei wissenschaftlichen Untersuchungen einen gewissen Elementarstoff, oder auch eine Grundkraft, welche als die Ursache alles Erwärmen und Verbrennens angesehen wurde, wie sich deutlich aus den Ausdrücken: *Feuerstoff*, *Feuerwesen*, *Elementarfeuer* u. a. ergibt. Diese Wortbedeutung kann aber als gänzlich untergegangen betrachtet werden, wenigstens wenn von den neuesten Zeiten die Rede ist. Außerdem aber bezeichnet dieses Wort, hauptsächlich im gemeinen Leben, das sogenannte *Küchenfeuer*, oder dasjenige, was durch den Act des

Verbrennens gegeben wird, wie die Ausdrücke *Feuerheerd*, *Feuerlöschung*, *Feuerhake* und viele andere beweisen. Indem somit alle diejenigen physikalischen Untersuchungen, welche ehemals über das Wesen und Verhalten des Feuers angestellt wurden, gegenwärtig zur Wärmelehre gehören, so kann hier nur von demjenigen die Rede seyn, was man gegenwärtig unter dem Ausdrucke Feuer versteht. Hierbei ist eine genaue Feststellung der Begriffe nicht ganz leicht, wenn man berücksichtigt, wie schwankend die eigentliche Bedeutung des Wortes an und für sich und in seinen vielfachen Zusammensetzungen ist. Aus dem Gesichtspuncte des Physikers betrachtet kann man indess sagen, daß Feuer jederzeit dann zum Vorschein kommt, wenn irgend ein Körper mit Ausscheidung von Licht und Wärme verbrennt, und hiernach fällt die ganze Untersuchung mit der des *Verbrennens* zusammen, wohin sie daher zu verweisen ist.

Insofern der Ausdruck *Feuer* aufser dem sogenannten Küchenfeuer vorzugsweise von demjenigen gebraucht wird, welches so oft einzelne Häuser und ganze Ortschaften verzehrt, so möge über dieses hier dasjenige gesagt werden, was ganz oder zum Theil in das Gebiet der Physik gehört. Ueber die Entstehung dieser Feuer oder der sogenannten *Feuersbrünste* kann nichts Bestimmtes angegeben werden, weil ihre Ursachen so ausnehmend mannigfaltig und allgemein bekannt sind. Nur so viel will ich hier bemerken, daß die durch den Blitz erzeugten sich durchaus nicht von andern unterscheiden¹, desgleichen daß bei weitem die meisten Brände nicht so verheerend seyn würden, als sie in der Regel sind, wenn man sie mit mehr Anstrengung im Entstehen zu unterdrücken suchte. Zum Theil aus dieser Ursache sind sie daher minder verwüstend in den Städten, namentlich den größeren, wo eine geregeltere Polizei (andere Ursachen hier nicht zu erörtern), eine größere Menge arbeitsfähiger Menschen und mit mehr Ordnung zum augenblicklichen Löschen anhält, anstatt daß oft auf dem Lande ein jeder zunächst erst sein Eigenthum zu schützen sucht, wodurch aber das Feuer Zeit gewinnt, mit solcher Macht um sich zu greifen, daß bald keine Bezwingung desselben mehr möglich ist.

Häufig wird die Beobachtung gemacht, daß im Anfange einer Feuersbrunst fast völlige Windstille herrscht, beim Fort-

¹ Dieses ist ausführlicher unter *Blitz* Th. I. S. 1027. gezeigt.

gange derselben aber der Wind sich erhebt und bei großen Bränden selbst in Sturm übergeht, auch zuweilen während dieser Zeit seine Richtung ändert. Unter diesen Erscheinungen folgt die erste, nämlich das Entstehen des Windes einfach und unmittelbar nach pneumatischen Gesetzen durch das Aufsteigen der sehr erhitzten Luft und das hierdurch veranlafte Eindringen der horizontalen Luftschichten, woraus dann auch die mit der Zeit leicht zunehmende Stärke des entstandenen Windes begreiflich wird¹. Weniger leicht läßt sich die wechselnde Richtung des entstandenen Windes daraus erklären, daß ähnliche Erscheinungen auch sonst wohl beobachtet werden, im Allgemeinen aber minder auffallen mögen, weil sie nur unbedeutendes Interesse haben, bei einer Feuersbrunst aber von hoher Wichtigkeit sind, und daher vorzüglich auffallen. Außerdem aber dringt die Luft von allen Seiten in die sehr erhitzte ein, und es kann daher von verschiedenen zusammenwirkenden Bedingungen abhängen, wenn die eine und bald darauf eine andere in größerer oder geringerer Höhe über der Erdoberfläche herrschende Luftströmung die Oberhand erhält.

Die Mittel zur *Feuerlöschung* zerfallen in zwei Classen, deren erste die *Instrumente*, die zweite die *gebrauchten Substanzen* in sich fast. Vorher aber ist als allgemeine Regel zu berücksichtigen, daß ein Brennen überall ohne Zutritt der freien Luft und des in ihr enthaltenen Sauerstoffgases unmöglich ist, dagegen desto stärker wird, je leichter und reichlicher die Luft herbeiströmt. Manches Feuer ließe sich daher in seinem Beginnen ersticken, wenn nicht das Bestreben, sich zum Löschen desselben Zugang zu verschaffen, ein Oeffnen der Zimmergang- und Caminthüren, der Fenster, das Einschlagen der Wände u. s. w. veranlafte. Namentlich würde das so oft gefährliche Brennen der Schornsteine ohne weiteren Nachtheil bleiben, wenn man Anstalten machte, sie durch eine Klappe oder eine sonstige Vorrichtung oben so zu verschließen, daß dadurch der Luftzug in ihnen gänzlich aufgehoben würde. Dahin gehört dann auch das zweckmäßige und schon mehrmals mit Erfolg angewandte Mittel, auf den Heerden unter den brennenden Schornsteinen eine verhältnißmäßige Menge Schwefel anzuzünden, damit das durch den Luftzug aufsteigende schwefelich-

1 Vergl. *Wind*.

saure Gas das Sauerstoffgas der atmosphärischen Luft absorbiert und dadurch das weitere Brennen des Rußes unmöglich macht.

Die Werkzeuge, deren man sich zur Feuerlöschung bedient, sind aufser den größeren Wasserkübeln, kleineren Feuer-eimern, Haken, Rettungsleitern u. s. w. insbesondere der *Feuerspritzen*, welche in der Hauptsache zweifach sind, nämlich sogenannte Handspritzen und größere auf Rädern bewegliche, wovon letztere wieder entweder Stofsspritzen sind, oder einen fortdauernden Wasserstrahl vermöge ihres Windkessels geben. Handspritzen sind deswegen zu empfehlen, weil man mit ihnen schnell im Innern der Gebäude zu den brennenden Gegenständen gelangen kann, allein ihre Wirkung ist zu geringe, wenn das Feuer schon beträchtlich um sich gegriffen hat. Die vortheilhafteste Construction der Feuerspritzen im Allgemeinen gehört zur Technologie und praktischen Maschinenlehre, kann also hier nicht mitgetheilt werden, die physikalischen Elemente aber, auf denen diese beruhet, sind in andern Artikeln angegeben¹.

Als Material der Feuerlöschung dient im Allgemeinen das Wasser, sey dieses reines oder schmutziges, je nachdem das eine oder das andere in gehöriger Menge am leichtesten zu erhalten ist. Die Wirksamkeit desselben beruhet auf der Abkühlung, welche die brennenden Substanzen durch das Benetzen erhalten, und da zum Verbranntwerden der Combustibilien eine mindestens 300° C. betragende Erhitzung erfordert wird, damit der Zustand des Glühens eintrete, so kann dieser nach der Benetzung mit Wasser nicht weiter fort dauern, theils wegen der hohen Wärmecapacität des Wassers, hauptsächlich aber wegen der ausnehmend großen Wärme, welche bei der Bildung des Wasserdampfes latent wird², und das Brennen muß folglich

1 S. unter andern Art. *Druckpumpe*; *Hydraulik* u. a. Zur Literatur dient, aufser den Werken über die Hydraulik und die praktische Maschinenlehre, insbesondere: KARSTEN Abh. über die vortheilhafteste Anordnung zu Feuerspritzen u. s. w. Greifsw. 1778. 4. KLÜGEL Abh. von der besten Art der Feuerspritzen u. s. w. Berl. 1774. 4. HELFENZRIEDER Abh. von Verbesserung der Feuerspritzen. München 1778. 8. J. E. SILBERSCHLAG praktische Abh. von Prüfung und richtiger Angabe der Feuerspritzen, mit Anm. von BUSSE. Halle 1800. 8. Ferner die engl. Encyclopädieen und die Werke über die Mechanik.

2 S. *Dampf*, latente Wärme desselben.

aufhören. Statt des Wassers hat man andere Auflösungen vorgeschlagen, welche jenes ersetzen und noch außerdem namentlich das Holz mit einem Ueberzuge bedecken sollten, wodurch dasselbe gegen die weiteren Einwirkungen des Feuers geschützt würde, als die durch J. F. GLASER¹ empfohlene Holzaschen-Lauge, schon gebrauchte Bleicherlauge oder Mutterlauge der Seifensieder, Lauge aus den Salzpfannen, Lösungen von Thonerde, überhaupt von Erden, Alkalien und Salzen im Wasser. Am bekanntesten ist diejenige Mischung geworden, welche der Schwede v. AKEN empfohlen hat, nämlich eine Auflösung von 40 ℥ schwefelsauren Eisens und 30 ℥ Alaun mit 20 ℥ rothem Eisenoxyd (Colcothar) und 200 ℥ Thon vermenget². Es ist zwar allerdings richtig, daß solche Substanzen die Dienste des bloßen Wassers ersetzen und noch außerdem einen das weitere Verbrennen hindernden Ueberzug bilden, so daß sie also dem bloßen Wasser vorzuziehen sind; allein theils sind sie an den meisten Orten nicht in hinlänglicher Menge zu haben, man kann sie gar nicht oder nur mit übermäßigen Kosten in der erforderlichen Quantität aufbewahren, und mehrere derselben verunreinigen die Schläuche, Gufsrohren und Ventile der Spritzen bis zur Unbrauchbarkeit. Unter den verschiedenen Vorschlägen dieser Art ist derjenige, welchen SIX³ gemacht hat, einer der besten, indem er rath, sich einer Lösung von Meersalz in Wasser zu bedienen, welches weniger leicht gefriert als gemeines Wasser, die Kübel zur Aufbewahrung nicht so leicht faulen läßt, und den brennbaren Substanzen allerdings einen mindestens etwas dem Feuer widerstehenden Ueberzug giebt⁴. Wo indess das Meersalz nicht leicht, in gehöriger Menge und wohlfeil zu haben ist, da wird der Gebrauch dieses Mittels schwerlich eingeführt werden, um so mehr als ein nachtheiliger Einfluß solcher Salzlösungen auf das Metall, namentlich das Eisen, der Feuerlöschungs-Apparate allerdings statt findet.

Es wird oft behauptet, daß nach Beobachtungen, insbesondere bei heftigen Feuersbrünsten, eine zu geringe Quantität des

1 S. Dr. J. F. GLASER'S Feuerlöschproben. Marb. 1786. 8.

2 G. XXIII. 314.

3 Ann. de Chim. LIV. 138.

4 Ueber die Mittel, wodurch man die Verbrenlichkeit der Körper aufzuheben oder zu vermindern beabsichtigt s. Art. *Verbrennen*.

ingespritzten Wassers das Brennen anstatt zu unterdrücken vielmehr verstärke. Im Allgemeinen genommen scheint hierin ein Widerspruch gegen die Naturgesetze zu liegen, indem man die Sache so ansehen könnte, als wenn das Wasser, ein schon verbrannter Körper, noch einmal verbrannt würde. Dieses ist zwar an sich unmöglich, allein dennoch ist die Sache nicht ganz ohne Grund. Wenn nämlich der Brand bedeutend stark, und insbesondere eine große Menge schon verkohlter und noch glühender Balken vorhanden ist, so vermindert sich die Menge des Rauches und der Flammen, deren Aufsteigen das Herbeiströmen frischer Luft und des darin enthaltenen Sauerstoffgas befördert, des letzteren ist nicht genug vorhanden, um sich mit den glühenden Kohlen zu verbinden und Kohlensäure zu erzeugen; das Brennen vermindert sich daher scheinbar wegen der verminderten Flamme, oder es nimmt aus den angegebenen Gründen wirklich etwas ab. Kommt unter diesen Umständen wenig und fein vertheiltes Wasser mit den brennenden Kohlen in Verbindung, so ist allgemein die Quantität desselben so geringe, daß die brennenden Kohlen durch die zur Verwandlung desselben in Dampf erforderliche, und ihnen entzogene Wärme, nicht unter die Glühhitze abgekühlt werden, und hiernach verlöschen; so vermögen sie das Wasser zu zerlegen, sie eignen sich den Sauerstoff desselben an, und der freigewordene Wasserstoff dient zur Vergrößerung der Flamme hauptsächlich durch das gebildete Kohlenoxydgas. Im Kleinen kann man diesen Proceß leicht darstellen, wenn man in einen mit Kohlen gefüllten und stark ziehenden Ofen etwas Wasser spritzt, wobei sogleich eine starke bläuliche Flamme mit Prasseln aus dem Schornsteinrohre herauszufahren pflegt. Etwas Aehnliches findet statt, wenn man einen Strom Wasserdampf auf eine beträchtliche Menge stark glühender Kohlen leitet. Hierbei ist auf allen Fall, wie schon angegeben, ein scheinbar stärkeres Verbrennen vorhanden, wegen der auffallendern Flamme; es läßt sich aber auch denken, daß das eigentliche Verbrennen und die erzeugte Hitze zunehme, wenn wirklich alles Wasser zerlegt wird, denn die spezifische Wärme des Wassers ist größer als die seiner Bestandtheile, und eine Trennung des ersteren in die letzteren müßte also eigentlich mit Wärmeerzeugung verbunden seyn¹. Dieser Gegenstand

¹ Vgl. SCHOLZ Physik 2te Aufl. S. 234. GAY-LUSSAC in Ann. Ch. Ph. I. 214.

hängt übrigens mit der Wärmelehre überhaupt so innig zusammen, daß er erst dort zur näheren Untersuchung kommen kann. Das Phänomen an sich ist einmal richtig, ob aber das eigentliche Brennen und die durch das Feuer erzeugte Hitze durch eine geringe Quantität fein vertheilten Wassers wirklich vermehrt werde, ist durch die Erfahrung noch nicht ausgemittelt.

In Beziehung auf die Quantität des zur Feuerlöschung erforderlichen Wassers ist insbesondere der zwischen v. MARUM und DECROIZILLES hierüber geführte Streit in der physikalischen Literatur einer Beachtung werth. v. MARUM stellte nämlich den Satz auf, daß bei Feuersbrünsten meistens eine ganz unnöthige Wasserverschwendung statt finde, wodurch manches an Häusern und Geräthen zerstört, die Arbeit unnöthig erschwert, und leicht an andern gleichfalls brennenden Stellen Mangel an Wasser herbeigeführt werde. Um aber zu beweisen, daß es nicht sowohl auf die Quantität des Wassers als vielmehr auf die zweckmäßige Verwendung desselben ankomme, ließ v. MARUM in wiederholten Versuchen ein Häuschen bauen, bedeckte dieses mit drei Schichten Stroh, machte zwei Oeffnungen als Luftzüge in demselben und zündete es an. Nachdem es vier Minuten gebrannt hatte, wurde das Wasser dagegen gespritzt, und die Löschung schnell mit 5 Eimern Wasser in drei Minuten bewerkstelligt, obgleich die Balken 1,5 Z. tief versengt waren¹.

Gegen die Resultate dieser Versuche erklärte sich DECROIZILLES² deswegen, weil bei denselben nur die Oberfläche des Holzes und insbesondere die leichtverbrennlichen Substanzen in Flammen gestanden hätten, wobei allerdings nur wenig Wasser zum Löschen erfordert werde. Ganz etwas anders aber ergäbe sich, wenn das Holz bis zu einer bedeutenden Tiefe verkohlt sey, in welchem Falle bei weitem eine gröfsere Masse Wassers erfordert werde, eine kleinere aber leicht Vermehrung des Brennens durch Zersetzung des Wassers in seine Bestandtheile veranlassen könne. Zur Unterstützung dieser Behauptung führt er die Ergebnisse einiger Versuche an, welche zu Rouen angestellt wurden. Ein Künstler aus Paris wollte nämlich zeigen, wie er mit einem eigenthümlichen feuerlöschenden Wasser leicht

¹ Voigt Mag. I. 2. 120. Gren. N. J. III. 134. IV. 152. G. XXIII. 313.

² Ann. de Chim. LI. 27. Vergl. LV. 104.

die größte Flamme unterdrücken könne, und dieses gelang auch wiederholt. Als aber die Commissarien zur Prüfung der Sache verlangten, daß das eigends für diesen Zweck erbaute, mit Stroh gefüllte und mit Pech angestrichene Haus, nachdem die erst stark rauchende, dann helllodrende Flamme der leicht brennbaren Stoffe sehr vermindert, nachher aber das Holz bis etwa einen Zoll tief völlig verkohlt war, gelöscht würde, wandte er mehr als die zehnfache Quantität seines vorher gebrauchten Löschwassers an, und dennoch brannte das Haus völlig ab. v. MARUM hat sich gegen diese Einwürfe vertheidigt, und darzuthun gesucht, daß in seinen wiederholten Versuchen nicht bloß die leicht verbrennlichen Substanzen vom Feuer ergriffen gewesen, sondern auch das Holz bis zu einer bedeutenden Tiefe verkohlt worden sey, welchen Einwendungen DECROIZILLES die seinigen wieder entgegengesetzte; kurz der Streit wurde nicht ohne Leidenschaftlichkeit geführt, die Sache selbst aber nicht zur endlichen Entscheidung gebracht, welches durch einige eben so leichte als entscheidende Versuche ohne Schwierigkeit zu erreichen war. DECROIZILLES leugnete nämlich die Resultate der Versuche v. MARUM's nicht, welche in Holland und in Deutschland so viel Aufsehen erregt hatten, behauptete aber, vollkommen glühende Kohlen oder völlig verkohlte Balken könnten nicht mit so wenigem Wasser gelöscht werden, als v. MARUM gefunden haben wollte, und hierin hatte er wohl ohne Zweifel schon in sofern Recht, als völlig verkohlte und bis in ihr Innerstes glühende Balken sich durchaus voll Wasser saugen müssen, wenn nicht die Hitze aus dem Innern das äußere benetzende Wasser verdampfen und die Entzündung aufs Neue beginnen soll. Die ganze Sache kam also auf die Entscheidung der Frage an: *Wie viel Wasser eine vollkommen glühende Kohle zum sicheren Verlöschen bedürfe.* Da mir keine Versuche hierüber bekannt sind, so beschloß ich selbst einige anzustellen, welche zwar in Beziehung auf Feuersbrünste nur genährte Resultate geben, im Ganzen aber zur Entscheidung der Sache dienen können. Bei wirklichen Feuersbrünsten nämlich sind die Bedingungen nachtheiliger, als im Experimente, indem dort die glühenden Kohlen oft auf und neben glühenden Steinen, oder auf dem stark erhitzten Boden liegen, deren nachhaltende Hitze einen Theil des Wassers verdampfen und das Glühen nach der Löschung wieder herbeiführen kann. Die folgenden Resultate

tate sind die Extreme einer Reihe von Versuchen, welche mir am einfachsten zur Entscheidung der Sache zu führen scheinen. Ich nahm vollkommen glühende Kohlen von etwa 1 Zoll dick, 2 Zoll breit und 3 bis 4 Zoll, auch noch wohl etwas darüber, lang, mit einer Zange schnell aus dem Feuer, blies die daran hängende Asche ab, und löschte sie mit einer gewogenen Quantität reinen Wassers aus, ehe die ohnehin schmalen Enden der Zange sie merklich abkühlen konnten. Weil ich hierbei keinen Tropfen des gebrauchten Wassers verlor, so gab der Unterschied einer vorher und nachher angestellten Wägung genau die Menge des zum Auslöschten erforderlichen Wassers. Das Auslöschten geschah theils so, daß die gebrauchten Kohlen zwar allezeit noch heiß blieben und dampften, jedoch waren sie entweder so stark benetzt, daß man sie mit dem Finger auswärts berühren konnte, und sie sich zuverlässig nicht wieder durch ihre eigene Hitze und ohne einen von Außen einwirkenden glühenden Körper entzündet haben würden, oder sie blieben noch so heiß, daß man sie nicht berühren konnte, und sie sich in Menge auf einem heißen Boden aufgehäuft vermuthlich oder wohl sicher wieder selbst entzündet haben würden, obgleich sie für den Augenblick und der kalten Luft ausgesetzt völlig erloschen waren und blieben. Den Bedarf des Wassers für den ersten Fall nenne ich den größten, für den letzteren den kleinsten. Nachdem die Kohlen völlig erkaltet waren und sich im Wasser ganz vollgesogen hatten, wodurch nach Messungen sowohl als auch der Art des Experimentes gemäß sich ihr Volumen nicht ändern konnte, so senkte ich sie in Wasser herab, und bestimmte hierbei den Gewichtsverlust. So wie nun jenes obere Gewicht das Volumen des zum Auslöschten der Kohlen erforderlichen Wassers anzeigt, so ist das letztere dem Volumen der Kohlen gleichfalls direct proportional. Für das Maximum betrug das Gewicht des Wassers 11,58 Grammes, das der Kohle 45,45; für das Minimum jenes 9,89 des Wassers und 52,86 der Kohle, zwischen welchen beiden Resultaten alle die aus anderen Versuchen erhaltenen in der Mitte lagen. Hiernach also bedürfen völlig glühende Kohlen zum Auslöschten in Maximo $\frac{11,58}{45,45}$ oder nahe $\frac{1}{4}$, in Minimo aber $\frac{9,89}{52,86}$ oder nahe $\frac{1}{5}$ ihres Volumens an Wasser. Man darf hiernach also annehmen, daß im Mittel etwa der fünfte Theil des Volumens der durchaus glühenden Kohlen an Wasser erforderlich ist, um sie vollständig auszulöschen.

Wenn gleich diese Resultate sehr entscheidend für die Behauptung von DECROIZILLES sprechen, so ist doch zugleich wohl zu berücksichtigen, daß die Feuerlöschung in vorkommenden Fällen der Regel nach nicht dann anfängt, wenn eine bedeutende Menge des Holzes völlig verkohlt ist, denn alsdann pflegt das Haus schon in sich selbst zusammengestürzt zu seyn, die Löschung wird überflüssig und die Aufmerksamkeit ist mehr darauf gerichtet, die weitere Verbreitung des Feuers zu verhüten. Meistens beginnt vielmehr die Feuerlöschung dann, und wird am ernstesten betrieben, wenn die leicht brennbaren Sachen in hellen Flammen stehen, und daß für diese Fälle die Regeln v. MARUM's gelten, geht sowohl aus dessen eigenen Versuchen hervor, als auch aus denen, welche DECROIZILLES ihnen entgegengestellt hat. Man kann diesemnach als sichere Regel annehmen, daß die Quantität des erforderlichen Wassers so viel größer seyn muß, je tiefer und allgemeiner das Holzwerk der brennenden Gebäude bereits verkohlt ist. Im Allgemeinen ist es ferner gewiß richtig, daß ein Feuer in seinem Beginnen durch eine zweckmäßig angebrachte geringe Quantität Wasser leicht gelöscht werden kann. Auf diesen Grund und die Resultate der Versuche ist denn auch PARROT's¹ Vorschlag gestützt, sich zum Löschen des Feuers gemeiner Besen mit nassen Tüchern umwickelt, und an langen Stäben befestigt zu bedienen, welche in geeigneten Fällen ganz nützlich sind, im Allgemeinen aber die Feuerspritzen und sonstigen Löschapparate nicht ersetzen können, und überhaupt wegen ihrer nicht überall paßlichen, im Ganzen aber unbeholfenen Länge von 8 bis 15 F. schon manches wider sich haben. Ich möchte hier des praktischen Nutzens wegen überhaupt noch in Erinnerung bringen, daß manches Unglück durch Feuer angerichtet wird, welches durch mehr Besonnenheit und Benutzung der unmittelbar zur Hand seyenden Mittel hätte verhütet werden können. Oft läßt sich ein beginnender Brand in einem Zimmer z. B. durch eine einzige Flasche Wasser im Entstehen unterdrücken, und außerdem ist es nicht bloß Wasser, welches brennende Gegenstände löscht, sondern die letzteren können nicht weiter brennen, wenn man sie sofort nur mit beliebigen Substanzen völlig überdeckt. Solche Mittel könnten oft namentlich dann angewandt werden,

1. Entretiens sur la Physique Dorp. 1820. III. 172.

wenn Damen ihre eigenen Kleider am Camine anzünden und in manchen ähnlichen Fällen. *M.*

F e u e r k u g e l.

Bolis, globus ardens; Bolide, Globe de feu; Fire ball. So nennt man diejenigen Meteore, die zuweilen plötzlich entstehend, einer feurigen Kugel gleichend, durch die Luft ziehen. Man nannte sie ehemals auch feurige Drachen, fliegende Drachen, und machte sich sonderbare Vorstellungen von ihnen.

Beobachtungsmethode und Berechnung ihrer Lage.

Da die Feuerkugeln gewöhnlich nur Nachts und bei heiterem Himmel gesehen werden, so bestimmt man ihren scheinbaren Ort am besten nach den Sternen, bei welchen sie vorbeiziehen. Wer sich das Verdienst erwerben will, Beiträge zu der wichtigen Entscheidung der Frage, in welchen Höhen die Feuerkugeln entstehen und fortziehen, zu liefern, der muß seine Aufmerksamkeit auf diese Bestimmung des scheinbaren Ortes sogleich, indem er die Erscheinung sieht, richten. Sind keine Wolken am Himmel, und kennt man die Sternbilder zu reichend, so kann man den ganzen Weg von Stern zu Stern verfolgen, welchen die Feuerkugel durchläuft; und obgleich dieses auch bei sehr guter Sternkenntniß, wegen der Schnelligkeit des Fortrückens nicht ganz leicht ist, so kann es doch meistens genau genug geschehen, um die Höhe zu bestimmen, wenn von mehreren nicht zu nahen Orten Beobachtungen verglichen werden können. Ist der Himmel nicht wolkenfrei, so daß man die Feuerkugel nur zwischen Wolken hervorkommen sieht, oder kennt der Beobachter nicht Sterne genug, um den Weg der Feuerkugel mit Hülfe der Sterne anzugeben, und in die Sterncharten einzuzichnen, oder erscheint die Feuerkugel am Tage, so muß man sich, um ihren scheinbaren Ort, so gut es dann möglich ist, anzugeben, den Ort, wo man sich selbst befindet, genau bemerken, und sich den Gegenstand merken, vertical über welchem die Erscheinung in ihrem Anfangs- oder Endpunkte stand; kehrt man dann mit einem Compass oder Winkelmesser zu eben dem Orte zurück, so kann man das *Azimuth*

in welchem man die Erscheinung wahrnahm, sicher bestimmen; in Hinsicht auf die scheinbare Höhe wird man sich in diesem Falle oft mit unsicherer Schätzung begnügen müssen, die man jedoch auch berichtigen kann, wenn man an demselben Punkte ein Winkel-Instrument nach der Höhe richtet, wo man, so weit die Erinnerung es anzugeben verstatet, die Erscheinung gesehen hatte. Die gewöhnlichen Angaben, die die Höhe der Feuerkugeln nach Häuserhöhen, ihre Größe nach Fußsen und die Länge ihrer Schweife nach Vergleichung mit der Länge einer Straße oder dergleichen bestimmen, sind eben so lächerlich und Unwissenheit verrathend, als sie nutzlos sind. Wenn man von zwei Orten hinreichend genaue Beobachtungen hat, nach welchen Richtungen in Beziehung auf den Horizont das Phänomen gesehen worden ist, so kann man den Ort angeben, wo es im Zenith gestanden hat. Zu diesem Zwecke nimmt man eine Landcharte, auf welcher sich jene zwei Beobachtungsorte, die ziemlich entfernt von einander seyn müssen, befinden, und zieht von jedem derselben, Linien in der Richtung gegen den Meridian, welche, der eine und der andere Beobachter als Azimuth des Phänomens angegeben haben. Der Punct, wo diese sich auf der Landcharte schneiden, bezeichnet den Ort, wo die Erscheinung im Zenith stand, und wenn einer der Beobachter zugleich die scheinbare Höhe angegeben hat, so kann man die wirkliche Höhe über der Erde gleichfalls finden. Mit dieser einfachen Bestimmung muß man sich oft begnügen, wenn die Beobachtungen keine große Genauigkeit gestatten.

Die genauere Berechnung der Höhe läßt sich auf folgende Weise erhalten, wenn der scheinbare Ort am Himmel von zwei ziemlich weit von einander entfernten Beobachtern mit zureichender Genauigkeit angegeben ist. Die Angabe wird immer am besten mit Hülfe der Sterne gemacht werden, und man wird daher die gerade Aufsteigung und Abweichung des Punctes, wo das Meteor erschien, kennen; man muß aber auch die Zeit möglichst genau kennen, um die Stellung der Sterne gegen den Meridian für den gegebenen Augenblick richtig zu wissen. Diese Stellung der Himmelskugel kennt man, indem man die gerade Aufsteigung des Meridians oder der Mitte des Himmels weiß, welche durch Bestimmung der Zeit, die man leicht auf Sternzeit zurückführt, erhalten wird.

Wenn man den scheinbaren Ort durch die gerade Auf-

steigung und die Abweichung angegeben hat, so erhält man aus der Rechnung sogleich den Ort der Feuerkugel in geographischer Länge und Breite. Die beiden durch beide Beobachtungspunkte gelegten, auf die Ebene des Aequators senkrechten Ebenen, deren Richtung durch die Rectascension bestimmt wird, geben nämlich einen Durchschnitt, welcher die geographische Länge des Ortes, wo die Erscheinung im Zenith stand, bestimmt.

Fig.

PMN stelle die Erde, A den einen, B den andern Beobachtungsort vor, X sey das beobachtete Meteor. Da NQM die Ebene des Erd-Aequators vorstellt, und APC, BPC Ebenen senkrecht auf den Aequator durch jeden der beiden Orte gelegt, so stellen a, b, die Projectionen beider Beobachtungsorte, x die Projection des Meteors auf die Ebene des Aequators vor, indem Aa, Bb, Xx, Linien senkrecht auf den Aequator sind. Hier erhellet nun leicht, daß aCb der Längenunterschied beider Beobachtungsorte ist, und daß die Linien ax, bx eben die Winkel mit Ca, Cb, machen, welche der Beobachter als Unterschied der Rectascension seines Meridians und des von ihm gesehenen Meteors aufgezeichnet hat; denn alle Punkte der Ebene AaXx erscheinen dem Beobachter in A, unter gleicher gerader Aufsteigung, und PAaC ist die Ebene seines Meridians. Es sey nun A' die gerade Aufsteigung des Meridians im Punkte B zur Zeit der Beobachtung, a' die scheinbare Rectascension des Meteors für B, so ist $x b L = a' - A'$, und wenn die geographische Breite des Ortes $B = B'$, der Abstand derselben vom Centro der Erde = R' ist, $Cb = R' \cos B'$; $Bb = R' \sin B'$. Haben A'', a'', B'', R'' eben die Bedeutung für den Punct A, so ist $(A'' - A')$ der Längenunterschied beider Orte und man hat

$$Cx = \frac{Cb \cdot \sin(a' - A')}{\sin bx C}, = \frac{Ca \cdot \sin(a'' - A'')}{\sin ax C};$$

also wenn x die Rectascension der Mitte des Himmels für die Punkte Xx, oder $x - A' = x Cb =$ dem geographischen Längenunterschiede der Orte X, B, ist, also $x Ca = x - A'$, so erhält man

$$Cx = \frac{R' \cos B' \cdot \sin(a' - A')}{\sin(a' - x)} = \frac{R'' \cdot \cos B'' \cdot \sin(a'' - A'')}{\sin(a'' - x)},$$

und daraus

$$\sin a'' \cos x \cdot R' \cos B' \cdot \sin(a' - A') - \sin a' \cos x \cdot R'' \cos B'' \cdot \sin(a'' - A'') \\ = \cos a'' \sin x \cdot R' \cos B' \cdot \sin(a' - A') - \cos a' \sin x \cdot R'' \cos B'' \cdot \sin(a'' - A'');$$

also

$$\text{Tang } x = \frac{R' \text{ Cos } B' \text{ Sin } a'' \text{ Sin } (a' - A') - R'' \text{ Cos } B'' \text{ Sin } a' \text{ Sin } (a'' - A'')}{R' \text{ Cos } B' \text{ Cos } a'' \text{ Sin } (a' - A') - R'' \text{ Cos } B'' \text{ Cos } a' \text{ Sin } (a'' - A'')}$$

Da hiermit der Längenunterschied zwischen dem Orte des Meteors und dem einen oder andern Beobachtungsorte gegeben ist, so kennt man alle diejenigen Orte, denen das Meteor im Meridian erschien.

Um auch die geographische Breite des Ortes, wo es im Zenith erschien, zu finden, ziehe ich Bv mit bx , Aw mit ax parallel, also beide mit der Ebene des Aequators parallel, und nun ist $XBv = b'$, die scheinbare Declination des Meteors in B , weil die Linie Bv nach Punkten im Aequator des Himmels zu geht; eben so $XAw = b''$ die scheinbare Declination in A . In dem auf dem Aequator gezeichneten Dreiecke bCx ist auch

$$bx = \frac{Cb \cdot \text{Sin } x \text{ C}b}{\text{Sin } Cxb} = \frac{R' \cdot \text{Cos } B' \text{ Sin } (x - A')}{\text{Sin } (a' - x)}$$

$$\text{und eben so } ax = \frac{R'' \cdot \text{Cos } B'' \text{ Sin } (x - A'')}{\text{Sin } (a'' - x)},$$

zugleich aber ist $ax = Aw$ und $bx = Bv$,
 $wX = Aw \cdot \text{Tang } b''$; $vX = Bv \cdot \text{Tang } b'$,

$$\text{also } xX = R' \cdot \text{Sin } B' + \frac{R' \text{ Cos } B' \text{ Sin } (x - A') \text{ Tang } b'}{\text{Sin } (a' - x)}$$

und $\text{Tang } XCx = \text{Tang}$ der geographischen Breite des Ortes, wo das Meteor im Zenith stand

$$= \frac{xX}{Cx} = \frac{\text{Tang } b' \cdot \text{Sin } (x - A') + \text{Tang } B' \cdot \text{Sin } (a' - x)}{\text{Sin } (a' - A')}$$

$$\text{oder auch} = \frac{\text{Tang } b'' \cdot \text{Sin } (x - A'') + \text{Tang } B'' \cdot \text{Sin } (a'' - x)}{\text{Sin } (a'' - A'')}$$

Dieser doppelte Werth entsteht daher, weil vier gegebene Bestimmungen, zwei Rectascensionen und zwei Declinationen, mehr als zureichend sind, um die drei gesuchten Stücke geographische Länge und Breite des Ortes, wo das Meteor im Zenith stand, und Höhe des Meteors zu bestimmen. Jene doppelte Bestimmung für y oder die geographische Breite kann einigermaßen als Versicherung über die Zuverlässigkeit der Beobachtung dienen; denn wenn beide Werthe auffallend verschieden wären, so könnte man der Beobachtung nicht viel Vertrauen schenken. Aus dem bisherigen findet man nun auch die Ent-

$$\text{fernung vom Mittelpuncte der Erde } CX = \rho = \frac{Cx}{\text{Cos } y}$$

$$= \frac{R' \text{ Cos } B' \cdot \text{Sin}(a' - A')}{\text{Cos } y \cdot \text{Sin}(a' - x)}$$

Es ist zuweilen angenehm, auch die Entfernung von beiden Beobachtern zu bestimmen, indem sich darnach entscheiden läßt, welcher von beiden die Erscheinung am größten sehen mußte. Man findet aber

$$BX = Bv. \text{ Sec. } b' = \frac{R' \text{ Cos } B' \text{ Sin}(x - A')}{\text{Cos } b' \cdot \text{Sin}(a' - x)};$$

$$\text{und } AX = \frac{R'' \text{ Cos } B'' \text{ Sin}(x - A'')}{\text{Cos } b'' \cdot \text{Sin}(a'' - x)}.$$

Diese Formeln bestimmen alles, was man zu wissen verlangt; aber sie geben nicht ganz bestimmt den Grad der Zuverlässigkeit der Beobachtungen an. Wenn die Beobachtungen ganz vollkommen genau wären, so schnitten AX, BX sich wirklich in dem Puncte, wo das Meteor lag, und beide Werthe von y würden strenge mit einander übereinstimmen; aber so genau sind die Beobachtungen vielleicht nie, und indem jeder der beiden Beobachter eine etwas verschiedene Richtungslinie angiebt, als die genau nach dem Meteor gezogene, so schneiden diese beiden Richtungslinien sich in den meisten Fällen gar nicht. Obgleich nun aus zwei nicht genauen Beobachtungen sich überhaupt keine scharfen Resultate erhalten lassen, so setzt man doch mit der meisten Wahrscheinlichkeit den wahren Ort des Phänomens dahin, wo die zwei angegebenen Gesichtslinien einander am nächsten kommen, und der kleinste Abstand beider giebt zugleich an, wie viel ungefähr die Beobachtungen fehlerhaft gewesen seyn mögen; denn obgleich auch durch Zufall selbst fehlerhaft angegebene Gesichtslinien nahe an einander vorbei gehen, und einander in einem Puncte am nächsten seyn können, der nicht eben der ist, wo das Meteor sich befand, so ist doch die Wahrscheinlichkeit immer dafür, daß der Punct der größten Nähe beider Linien nahe mit dem Puncte zusammenstimmt, auf welchen die Beobachtung gerichtet war, und daß ein nahes Zusammentreffen Folge der Richtigkeit der Beobachtung ist. Da ich die allgemeine Bestimmung dieses Punctes des kleinsten Abstandes beider angegebenen Gesichtslinien anderswo

ausführlich mitgetheilt habe¹, so will ich hier nicht dabei verweilen.

Genauere Beschreibung der Erscheinungen.

Die Nachrichten von einzelnen Feuerkugeln sind so zahlreich, daß es unmöglich ist, von allen merkwürdigen Beobachtungen hier etwas mitzuthellen; ich setze nur einige der wichtigsten bekannten Beobachtungen hierher, um zu zeigen, welche Erscheinungen die Feuerkugeln darbieten. 1676 am 31. März anderthalb Stunden nach Sonnenuntergang ward eine von Dalmatien her, über das Adriatische Meer, über Italien weg und in der Richtung nach Corsica gehende Feuerkugel in Italien und Deutschland beobachtet. Man hörte bei ihrem Fortziehen ein zischendes Geräusch, und bei ihrem Zerspringen oder bei ihrem Eintauchen in das Meer ein Getöse, wie von Wagen, die auf Steinpflaster fahren. Alle Gegenstände wurden, wie bei Tage, erleuchtet; die Kugel zeigte sich so groß als der Vollmond mit einem zugespitzten Schweiße, der anfangs roth, nachher blau war. Die Höhe ist, so gut es die Beobachtungen erlaubten, zu 38 italien. Meilen angegeben, die Höhe war aber, wie CHLADNI bemerkt, wahrscheinlich größer. Die Geschwindigkeit ward zu $2\frac{3}{4}$ italienische Meilen in der Secunde angegeben, und ihre Richtung war, wie HALLEY bemerkte², der Richtung der Bewegung der Erde in ihrer Bahn entgegengesetzt.

Die am 19. Juli 1686 in Sachsen von KIRCH beobachtete Feuerkugel, deren Höhe HALLEY, auf Beobachtungen in Leipzig und Schleitz gestützt, zu 30 englischen oder 7 bis 8 deutschen Meilen angiebt, scheint sich dadurch ausgezeichnet zu haben, daß sie ihren Ort nicht viel veränderte, obgleich sie 7 Minuten sichtbar blieb. HALLEY bemerkt indess³, selbst nach KIRCH's eigenen fernern Angaben sey sie nicht vollkommen ruhend erschienen. Diese geringe Bewegung mußte wohl daher kommen, daß sie ziemlich genau die Geschwindigkeit wie die Erde selbst hatte, und daher als relativ ruhend erschien.

Die Feuerkugel, von welcher HALLEY die Beobachtungen

1 BRANDES's Unterhaltungen für Freunde der Physik und Astronomie. Leipzig 1826. 1. Heft.

2 Phil. Tr. Vol. XXIX. p. 161.

3 Ebd. p. 163.

gesammelt hat, 1719 am 19. März, soll fast der Sonne gleich geleuchtet haben; sie selbst hatte ein weißes, der Schweif ein rothes Licht. Nach dem Erlöschen, das mit zwei Explosionen begleitet war, blieb ein helles Wölkchen und ein Lichtstreif zurück. Nach HALLEY's Berechnung war sie über Worcester in 16 deutschen Meilen Höhe, und ging 5 engl. Meilen in einer Secunde von Nord gen Ost gegen Süd gen West fort¹.

Die am 11. Dec. 1741 im südlichen England erschienene Feuerkugel ist vorzüglich dadurch merkwürdig, daß sie bei hellem Sonnenschein um 1 Uhr Mittags gesehen wurde. Ihr Licht wird von dem einen Beobachter wie eine feurige Kohle, von MILNER dagegen, der in allen seinen Ausdrücken am meisten Sachkenntniß zeigt, völlig so hell als der Mond erscheint, wenn man ihn mit der Sonne zugleich am Himmel sieht, beschrieben. Sie erschien in Peckham etwas größer als der Vollmond, bewegte sich nicht ganz so schnell als die Sternschnuppen fortzugehen pflegen; sie ließ einen Schweif zurück, der weißer, als die Feuerkugel selbst, erschien, und dieser war anfangs schmal, an beiden Enden zugespitzt, aber nach und nach wurde er breiter und nach 20 Minuten zeigte sich dieser Ueberrest der Erscheinung ganz einer hellen, dünnen Wolke gleich, die etwa dreimal so breit als zu Anfang war und etwas höher über dem Horizonte stand, als gleich nach dem Verschwinden der Kugel. Die Feuerkugel selbst ging von Südwest nach Nordost, ihr Weg ging östlich an der Insel Whight vorbei, ungefähr über die Gegend von Canterbury. Ihre ganze Dauer wird zu 4 Sec. angegeben; sie verschwand mit einem sehr heftigen, doppelten Knalle, von welchem in einigen Gegenden der Grafschaft Sussex und in Canterbury die Häuser erbebtten, und dieser Knall scheint nicht bis London hin und nicht bis zur Insel Whight hörbar gewesen zu seyn².

Am 26. Mai 1751 um 8 Uhr Abends erschien im Agramer Comitete eine Feuerkugel, aus welcher zwei Eisenmassen herabfielen, deren eine noch jetzt in Wien aufbewahrt wird. Da sie von FEDER etwa 30 Grade hoch in Neustadt an der Aisch gesehen worden ist, so mußte sie gegen 30 bis 40 deutsche Meilen hoch

1 Phil. Tr. XXX. 978.

2 Phil. Tr. for 1741. p. 870. 1742. p. 1. 188.

seyn. Sie zersprang mit Krachen, wobei Erschütterung und Verbreitung von Rauch bemerkt ward¹.

1758 am 26. Nov. Abends um 8 Uhr erschien in England eine merkwürdige Feuerkugel. PRINGLE hat die Beobachtungen gesammelt und auf eine sehr passende Weise zusammengestellt, und obgleich nicht alle ganz in Uebereinstimmung sind, so kann man doch folgende Angaben, als im Wesentlichen allen Beobachtungen entsprechend ansehen. Das Meteor muß in der Gegend von Cambridge zuerst entstanden, oder leuchtend geworden seyn. Dort sah man eine in weißem Lichte ungemein hell glänzende Kugel, etwa halb so groß im Durchmesser als der Mond gegen Nord-Nordwest fortziehen. Als die Kugel noch 6 oder 7 Grade vom Horizont war, schien der Schweif zu zerbersten, wobei das Licht blendend wurde: darauf verschwand der Schweif und drei Sterne, die der Kugel folgten, zeigten sich. Der Glanz war so groß, daß man eine auf der Erde liegende Nadel hätte sehen können. Die Beobachtungen aus Manchester und Cockermouth in Cumberland bestätigen diese Umstände. In Carlisle sah man keine abgesonderte Kugel, sondern die ganze Masse scheint, als sie in diese Gegend gelangte, kegelförmig, hinten zugespitzt, gewesen zu seyn. Auch hier erschien sie in dem hellsten Glanze. Aus dem hintern Theile des Meteors hat man hier, so wie in Newcastle, Ducham, Dumfries, Funken hervorkommen gesehen, die nach einigen Nachrichten sich beim Herabfallen zerstreuten. Eine Minute nach dem Verschwinden (die Zeitbestimmung ist nicht ganz gleich bei den Beobachtern) hörte man in Carlisle zwei Explosionen gleich nach einander, welche Kanonenschüssen aus $\frac{1}{2}$ deutscher Meile Entfernung gehört, ähnlich waren. Diese Explosion beschreibt ein Beobachter, der 15 engl. Meilen nordöstlich von Carlisle war, als ein furchtbares Krachen, lauter als der stärkste Kanonen-Knall, und sagt, daß dieses 7 bis 8 Sec. dauerte. Während des Fortziehens der Kugel wollten einige Beobachter ein Zischen gehört haben, da aber andere an eben den Orten es nicht hörten, so hält PRINGLE dieses für Täuschung. Aus den noch nördlicheren Gegenden, namentlich aus Stitchill, 15 deutsche Meilen nordnordöstlich von Carlisle wurde berichtet,

¹ v. ENDE über Massen und Steine, die aus dem Monde auf die Erde gefallen sind. Braunschweig 1808.

dafs man eine ungemein leuchtende Erscheinung gesehen und nachher einen lauten Donner gehört habe, aber einen eigentlichen Körper, der das Licht aussendete, habe man nicht gesehen. PRINGLE glaubt daher, dafs, nachdem das Meteor zwischen Carlisle und Dumfries hin gezogen war, es einige Meilen südlich von Douglas die Veränderung erlitten hatte, welche die Beobachter als ein Abbrechen des Schweifes beschrieben, aus welchem Funken hervorbrachen. Der Haupttheil, in den sich die Ueberreste des Schweifes sammelten, ging dann bis über Fort William, und bei Inverness mufs das Meteor nach einem Laufe von 400 englischen (90 bis 100 deutschen) Meilen verschwunden seyn. Dennoch scheint dasselbe, obgleich es hier erloschen war, fortgezogen zu seyn und sich noch einmal leuchtend gezeigt zu haben; denn in 58 Grad Breite an der Westküste der Grafschaft Ross sah man es recht glänzend, doch nicht der Sonne gleich, nach Süden fortziehen (der vorigen Richtung entgegen); das Licht glich dem Lichte des brennenden Weingeistes, die Kugel erschien hier ohne Schweif, und liefs Funken von verschiedener Gröfse und Farbe herabfallen.

Die Beobachtungen zeigten, dafs es oberhalb Cambridge 20 bis 23 deutsche Meilen hoch war, oberhalb Fort William nur 6 bis 8 deutsche Meilen. Die Geschwindigkeit des Meteors mufs über 6 deutsche Meilen in der Secunde seyn¹.

Die am 10. Juli 1771 im nördlichen Frankreich erschienene Feuerkugel ist von LE ROY umständlich beschrieben². Um 10 $\frac{1}{2}$ Uhr Abends zeigte sich dieses Meteor anfangs wie eine grofse Sternschnuppe, aber allmählig sah man es, der Annäherung wegen, gröfser; es bewegte sich ungemein schnell und stark gegen die Erde geneigt; seine Form, die anfangs kugelförmig war, ging nachher in die Form eines Glaspfens über, und dabei war der Glanz von der blendendsten Weifse. Der Haupttheil des Meteors war mit Funken umgeben, und der mit Roth umgebene Schweif zeigte sich mit Regenbogenfarben übersät. Als die Kugel sich schon nicht merklich fortbewegte, nahm sie eine weniger längliche Form an, und schien in der Mitte zu kochen; darauf zersprang sie und zertheilte sich in eine Menge Funken, die so glänzend waren, dafs mehrere Personen es nicht ertragen

1 Phil. Transact. Vol. LI. for the Year 1759. p. 218. 259.

2 Hist. et Mém. de l'acad. des sc. à Paris pour 1771. p. 670.

konnten, sie anzusehen. Die ganze Dauer der Erscheinung wurde in Paris nur auf 4 Secunden geschätzt, doch hatte man den Anfang dort nicht beobachtet. Zwei Minuten nach dem Zerspringen hörte man einen Knall, den einige einem entfernten Donner verglichen, andere dem Rasseln schwer belasteter Wagen auf einem Steinpflaster, andere einem einstürzenden Hause. Gegen Melun zu war dieser Knall stärker und man unterschied noch einen zweiten schwächeren. An einigen Orten der Stadt empfand man bei dem Knalle zugleich eine Erschütterung. Eben dieses Meteor war von Amiens, Dieppe, Havre, bis nach Limoges, Lyon, Dijon und selbst in Sarlat an der Dordogne beobachtet worden, und den Knall hatte man von Rouen und Amiens bis südlich von Paris gehört, also durch eine Gegend, die 15 bis 20 deutsche Meilen im Durchmesser hat. Le Roy schließt aus den gesammelten Beobachtungen, daß das Meteor zuerst sich in England muß gezeigt haben, und nach HORNBY'S Bericht war es auch in der Gegend von Oxford so groß als der Mond im Durchmesser und mit einem Schweife gesehen worden. Da es dort südöstlich erschien, so bestätigt diese Beobachtung LE ROY'S Meinung, daß es von der Gegend der Grafschaften Sussex und Surrey über den Canal herüberzog, und von Nordwest $\frac{1}{4}$ Nord her ungefähr auf Paris und Melun zu seine Richtung nahm. Der Punct seines Zerspringens mußte einige Meilen südsüdöstlich von Paris liegen, etwa $1\frac{1}{2}$ lieues von Melun. Die Berechnung der Beobachtungen, welche Le Roy mit großem Fleiße gesammelt hat, ergab, daß die Feuerkugel zuerst über 41000 Toisen (über 10 deutsche Meilen) hoch war, bei der Explosion aber sich bis zu 20600 Toisen (5 deutsche Meilen) herab gesenkt hatte, und bei dieser Höhe konnte sie sehr gut durch fast ganz Frankreich sichtbar seyn.

Die ganze Dauer des Erscheinens glaubt LE ROY doch nicht auf mehr als 10 Secunden setzen zu können und in dieser Zeit durchlief das Meteor etwa 45 deutsche Meilen, 4 bis 5 Meilen in der Secunde. Die Kugel mußte, wenn man auch nur mäßig rechnet, über 1000 Fufs Durchmesser haben; aber daß etwas davon auf die Erde gefallen wäre, davon sagt keine Beobachtung etwas.

Ueber eine andere Feuerkugel, die am 18. August 1783 in England erschien, hat BLADEN die Beobachtungen gesam-

melt¹. Diese Feuerkugel wurde von den Shetländischen Inseln bis nach Frankreich und den Niederlanden beobachtet, und eine Nachricht gab an, daß sie sogar in Rom gesehen wäre. Man sah sie in Aberdeen und zu Blair in Athol von Norden her heraufsteigen, und die Beobachtungen ergeben, daß sie schon nördlich von der nördlichsten Küste Schottlands entstand; sie ging etwas westlich von Perth und etwas östlich von Edinburgh vorbei, über die westlichen Gegenden von Northumberland, durch die Mitte von Yorkshire etwas westlich von York. Bis dahin ging sie beinahe genau nach Südsüdost fort: aber etwa an der Grenze von Yorkshire und Lincolnshire nahm ihre Bahn eine etwas mehr östliche Richtung, und sie selbst scheint bei dieser Aenderung der Richtung auch eine Explosion oder ein Zerbersten erlitten zu haben. Anfangs nämlich hatte sie sich kugelförmig, alsdann etwas elliptisch und geschweifft gezeigt; nach dem Zerbersten ging sie nicht mehr als *eine* Masse fort, sondern als eine Menge von Kugeln, von ungleicher Größe, die jede einen Schweif hinter sich zogen; auf diese Weise sah man das Meteor mit ungemeinem Glanze alle Gegenstände erleuchtend, fortziehen, bis man es in England der Entfernung wegen aus den Augen verlor. Diese Sammlung kleiner Meteore scheint südöstlich über Cambridgeshire und die Grenzen von Suffolk fortgegangen zu seyn, dann aber der frühern Richtung gemäß über Essex und den Canal sich bewegt zu haben. Die Küste von Frankreich muß das Meteor in der Gegend von Dünkirchen erreicht haben, indem man es dort sowohl als in Calais und Ostende nahe am Zenith sah, und so setzte es seinen Weg noch weiter fort, worüber aber die genaueren Nachrichten fehlen. Dieses merkwürdige Meteor durchlief also 13 bis 14 Breitengrade, also 200 deutsche Meilen. Das Ansehen des Meteors war veränderlich, so daß AUBERT es nicht für einen festen Körper hielt, und sich darin auch durch die, anscheinend etwas wellenartig gekrümmte Linie seines Laufs bestärkt fand. Der Schweif blieb nicht immer gleich, und auch die Hauptmasse war zuweilen rund, zuweilen elliptisch und zuweilen hinten spitz zulaufend. Der Schweif schien bei diesen und andern Meteoren zum Theil aus eben der Materie, wie die Hauptmasse oder der Kern zu bestehen, der übrige, größere

1 Phil. Transact. for 1784. p. 201. 112.

Theil sah aber so aus, als ob er aus dünner zertheilten dunst-artigen Theilen bestände. Auch die Farbe des Meteors war veränderlich, aber so sehr bläulich, daß ein Beobachter den Mond dagegen als in rothem Lichte erscheinend angab. Die Feuerkugel schien kurz vor dem Zerspringen aus hellern und dunklern Theilen zu bestehen, von denen man zu bemerken glaubte, daß sie in steter Agitation wären. Die Bestimmungen der Höhe scheinen mit vieler Sicherheit zu ergeben, daß die Feuerkugel ihren ganzen Weg in einer ziemlich gleichen Höhe von 60 englischen (15 deutsche) Meilen über der Erde durchlief. Auch bei diesem Meteore hörte man an einigen Orten einen Knall, und nach BLAGDEN's Meinung mochte wohl bei der ersten Explosion ein Knall statt gefunden haben, und nachher ein zweiter. Den Durchmesser berechnet BLAGDEN zu $\frac{1}{2}$ engl. Meilen oder 2500 Fuß, gesteht aber, daß diese Bestimmung unsicher sey, weil Beobachter, deren Standpunct sich in sehr ungleichen Entfernungen von dem Meteor befand, die scheinbare Gröfse dem Durchmesser des Mondes gleich angeben, so daß der große Glanz der Feuerkugel mehr als der eigentliche Sehewinkel die Angabe der scheinbaren Gröfse bestimmt zu haben scheint. Ueberhaupt ist es gewiß, daß die Schätzung der Gröfse leuchtender Körper großer Unsicherheit unterworfen ist, denn wer würde nicht die Breite der Blitzstrahlen, die man Nachts in 2 Meilen Entfernung sieht, wohl auf 2, 3 und mehr Minuten schätzen? — und doch würde ein Blitz von 3 Minuten scheinbarem Durchmesser in 2 Meilen Entfernung 40 Fuß Durchmesser haben müssen, was gewiß nicht der Fall ist. Die Dauer dieser Feuerkugel war ungewöhnlich lange; HERSCHEL, der die Erscheinung erst gewahr ward, als die Kugel sich schon in mehrere kleine zertheilt hatte, sah sie 40 bis 45 Secunden und zuletzt fast in demselben Puncte des Himmels still stehend, als sie ihrer Entfernung halber den Meisten schon unsichtbar geworden war. Sie mochte also ihren ganzen Weg von 200 Meilen in 1 Minute zurücklegen.

Die Höhe der am 8. März 1798 in Genf, Lausanne und Chambery beobachteten Feuerkugel, die auch in hellglänzende Funken sich zertheilte, konnte nach PREYOST's Berechnung aus ziemlich mittelmäßigen Beobachtungen nicht viel über 6 Lieues betragen. Die Feuerkugel am 23. Oct. 1805 zeichnete sich durch die sehr lange Dauer ihres Schweifes aus.

Die Dauer der Feuerkugel selbst, die übrigens nicht zu den ungemein großen gehörte, setzt SCHRÖTER auf 3 bis 4 Sekunden¹, aber nach dem Verschwinden blieb ein heller Lichtstreif sichtbar; von welchem SCHRÖTER sagt, er habe sich mehrere Minuten lang in gerader verticaler Linie völlig fest stehend gezeigt; demnächst aber habe er angefangen, eine veränderliche wellenförmige Linie zu bilden, welche immer stärker gekrümmt wurde; nach etlichen Minuten Zeit habe der Schweif, als ob ein sanfter Windzug ihn gegen Süden fortdrängte, etwas unterhalb seiner Mitte, eine fast halbrunde, mit der convexen Seite nach Süden gerichtete Beugung angenommen, welche mit der concaven Seite η des Hercules in sich schloß². Diese Beugung dehnte sich immer weiter nach Süden aus, nach 7 Minuten war sie einem S, nachher einer 2 ähnlich; selbst nach 15 Minuten war noch etwas von dem Lichtstreifen, noch weiter nach Süden gerückt, zu erkennen. Da meine eigene Beobachtung, so viel ich mich erinnern kann, noch nirgend bekannt gemacht ist, so sey es mir erlaubt, ihr hier einen Platz zu geben, so wie ich sie damals niedergeschrieben habe. Gegen $7\frac{1}{2}$ Uhr [nach SCHRÖTER war es $7^h 14'$] beobachtete ich in Eckwarden 6 Meilen nördlich von Oldenburg eine leuchtende Erscheinung, wie ein matt glänzendes Wölkchen, unter dem Kopfe des Ophiuchus; das Ganze bildet einen ζ förmigen Streifen, der langsam gegen den Poniatowski'schen Stier fortrückte. Der hellste Theil stand nahe über σ des Ophiuchus. Die Erscheinung verlor ihr Licht sehr langsam und noch nach 15 Minuten glaubte ich schwache Spuren davon zu bemerken. Der hellste Theil, der aber jetzt matter glänzte, als vorhin der schwächste Theil, stand zwischen p und o des Poniatowski'schen Stiers und ein sehr matter Streif zog sich gekrümmt nach α des Ophiuchus zu. Als ich das Phänomen zuerst sah, war es den gewöhnlichen zurückbleibenden Schweifen der Sternschnuppen ähnlich; der helle Fleck aber, der oberhalb σ etwas seitwärts nach α zu stand, unterschied sich davon. Nach meiner und SCHRÖTER's Beobachtung, indem ich den wenig von σ entfernten von mir beobachteten Punct als den Endpunct ansehe,

1 Gilb. XXIII. 107.

2 Diese Angabe ist gewiß ein Druckfehler, denn η Herc. steht so weit nördlich, daß er unmöglich gemeint seyn kann.

verschwand diese kleine Feuerkugel senkrecht über der Provinz Gröningen in einer Höhe von 6 Meilen, wobei freilich die Unsicherheit erheblich ist, da ich nicht den eigentlichen Ort des Verschwindens gesehen hatte. Die Düsseldorfer Beobachtung, (die nicht von BENZENBERG selbstangestellt worden) ist offenbar nicht genau genug, um darauf eine Berechnung zu gründen¹.

Das am 14. Dec. 1807 Morgens in Connecticut gesehene Meteor war im Allgemeinen den oben beschriebenen ähnlich; es war kaum halb so groß im Durchmesser als der Mond, und hatte einen Schweif, dessen Länge dem 10 bis 12 maligen Durchmesser der Kugel gleich war. Ein Beobachter in Weston, in dessen Zenith ungefähr das Meteor verschwand, giebt an, daß das Verschwinden nicht ganz plötzlich statt fand, sondern ein zwar schnelles, aber doch durch merkliche Unterschiede fortschreitendes Abnehmen des Lichtes beobachtet wurde. Die ganze Erscheinung dauerte etwa 30 Secunden und 30 bis 40 Secunden nachher hörte man einen heftigen Knall, dem noch eine Reihe schwächerer Detonationen folgte. Das Phänomen war dem Monde so ähnlich, daß eine Dame, die es gesehen hatte, sagt, ihr erster Gedanke bei dieser Erscheinung sey gewesen, wo denn der Mond so schnell hin wolle. Ein anderer Beobachter bemerkt, das Verschwinden sey mit drei heftigen Bewegungen, wie Sprüngen, begleitet gewesen, bei jedem sey das Licht schwächer geworden, und beim dritten ganz verschwunden. Die Berechnung von BOWDITCH zeigt, daß das Meteor sich ziemlich parallel mit der Erdoberfläche in einer Höhe von 4 deutschen Meilen fortbewegte; es durchlief ein von Norden nach Süden gerichtete, wenig nach Westen abweichenden Weg mit einer Geschwindigkeit von 4 Meilen in jeder Secunde.

Bei dem Erscheinen dieses Meteors fiel eine Masse, die 225 Pfunde wog, aus der Luft, und nach BOWDITCH'S Meinung konnte dieses doch nur der unbedeutendste Theil des Meteors seyn, dessen Durchmesser nach den Angaben, die ihn am kleinsten geben, gegen 500 Fufs betragen mußte².

1 Ich hatte meine Beobachtung in der Hoffnung, auch die nachherigen Aenderungen der Stellung des Schweifs zu berechnen, genau niedergeschrieben; aber ich habe keine andere dazu zureichende Beobachtung gefunden.

2 Astronomische Zeitschrift von v. Lindenau und v. Bohnenberger. I. 137.

Am 15. Juni 1821 sah man bei dem Herabfallen eines Meteorsteines von 220 Pfunden in der Nähe von Juvenas, nicht weit von Viviers eine Feuerkugel. Obgleich es um 3 Uhr Nachmittags war, so sahen dennoch einige Beobachter die Erscheinung glänzend genug, um sie als Feuerkugel anzuerkennen, und auch der Knall, von welchem die Erscheinung begleitet war, stimmte ganz mit dem überein, was man bei Feuerkugeln beobachtet hat. Diese Feuerkugel liefs auf der durchlaufenen Bahn einen grauen Dunst zurück, der wie ein langes Band mit nur schwachen Zickzacks am Rande erschien, eine Art von Rauch, welcher die Farbe der Wolken hatte, und in so völliger Ruhe war, dafs man ihn noch nach 10 Minuten wahrnahm, ohne dafs er seine Stelle und Gestalt merklich änderte. Da es heller Sonnenschein war, so kann man sich leicht denken, dafs ein so matt leuchtender Schweif, wie wir ihn aus den nächtlichen Beobachtungen kennen, wohl als blofse Wolke erscheinen konnte.

Die hier mitgetheilten Beobachtungen geben hinreichend an, wie die Feuerkugeln sich gewöhnlich zeigen. Bei einigen, z. B. bei der am 12. Nov. 1799, hat man ein Entstehen aus sich durchkreuzenden Lichtstrahlen beobachtet, und noch auffallender mufs ein ähnliches Hervorgehen einer Anfangs kleinen, nachher bedeutend grofs werdenden Feuerkugel aus Feuerstreifen bei der am 23. Aug. 1812 gewesen seyn. Andere Feuerkugeln scheinen aus einer wolkenähnlichen Erscheinung entstanden zu seyn doch so dafs man diese Wolken nicht mit gewöhnlichen Wolken für einerlei halten konnte¹.

Endlich mufs ich doch auch noch erwähnen, dafs man zur Zeit von Stürmen und ungewöhnlich tiefem Barometerstande mehrmals Feuerkugeln gesehen hat, unter denen mir aber keine bekannt ist, die genau genug beobachtet wäre, um ihre Höhe mit Sicherheit bestimmen zu können, so dafs es zweifelhaft bleibt, ob diese Feuerkugeln mit den vorigen ganz einerlei sind².

¹ CHLADNI über Feuermeteore und über die mit denselben herabgefallenen Massen. Wien, 1819. wo man alle Nachrichten von Feuerkugeln gesammelt findet.

² Brandes de repentinis variationibus in pressione aëris observatis. p. 41.

Meinungen über die Natur dieser Meteore.

Die älteren Meinungen, daß die aus der Erde aufsteigenden schwefelichen Dünste sich entzündeten und die Erscheinung der Feuerkugeln darbieten, verdient kaum noch angeführt zu werden. Auch die Meinung, daß die Feuerkugeln elektrische Funken, oder daß sie Entzündung brennbarer Luft sind, haben zu wenig für sich, um bei ihnen zu verweilen; denn obgleich es möglich wäre, daß unter den vielen leuchtenden Erscheinungen, die wir über uns sehen, einige, den Feuerkugeln ähnliche, elektrischen Ursprungs wären, so kann dieses doch für die, welche über ganze Länder, hundert Meilen weit fortziehen, gewiß nicht passen.

Die Meinung, daß diese Meteore im Weltraume schwebende Massen sind, denen die Erde in ihrem Laufe um die Sonne begegnet, hat zwar HALLEY schon ausgesprochen, aber CHLADNI hat dennoch das Verdienst¹ diese wenig beachtete, und ganz vergessene Meinung, zu einer Zeit, wo man sie verlachte, mit guten Gründen vertheidigt zu haben, und obgleich auch durch sie nicht alle Umstände erklärt werden, so hat sie doch durch das in neuern Zeiten genauer beobachtete Herabfallen der Meteorsteine, welches mit dem Erscheinen von Feuerkugeln verbunden war, eine solche Bestätigung erhalten, daß der Hauptumstand, nämlich daß die Feuerkugeln nicht auf der Erde entstehen, sondern aus fremden, in unsere Atmosphäre eintretenden Massen, die hier leuchtend werden und nach ihrem Erlöschen Meteorsteine (zuweilen auch andere Massen) herabfallen lassen, kaum noch bezweifelt werden kann. Schon damals zeigte CHLADNI, daß man mit Unrecht so manche gut beglaubigte Nachrichten von herabgefallenen Steinen in Zweifel ziehe, daß die Umstände, unter welchen sie herabgefallen seyn sollten, das gleichzeitige Erscheinen von Feuerkugeln u. s. w., so übereinstimmend sind, daß schon darin ein Beglaubigungsgrund liege, daß die Entfernung der Feuerkugeln von der Erde und ihre große Geschwindigkeit mit allen andern Erklärungen in Widerspruch stehe, und dagegen begreiflich werde, wenn man annehme, sie bewegten sich, gleichsam als kleine Weltkörper,

¹ CHLADNI über die von PALLAS gefundene und andere ähnliche Eisenmassen. Riga, 1794.

im Raume fort und würden von der Erde angezogen, wenn sie ihnen nahe genug kommt.

Die Entstehung der ungemeynen Hitze, wodurch diese Körper glühend, schmelzend, ja wohl gar in Dämpfe verwandelt werden, ist freilich noch immer schwer zu erklären. Denn wenn gleich, wie CHLADNI in seinem neuern Werke bemerkt, ein mit so ungemeyner Geschwindigkeit in unsere Atmosphäre eintretender Körper eine starke Compression der Luft und dadurch sehr große Erhitzung bewirken kann, wenn gleich durch diese Compression selbst da wo die Luft schon ziemlich dünne ist, genug Sauerstoffgas, um dieses Brennen und Leuchten zu unterhalten, auf die Masse einwirken kann, so muß man doch gestehen, daß, nach unsern sonstigen Begriffen von der Atmosphäre, dieses da nicht wohl statt finden kann, wo fast gar keine Luft vorhanden ist, und daß dennoch in so großen Höhen Feuerkugeln und Sternschnuppen sichtbar werden. Doch dieser Umstand und mehrere andere sind nicht als Einwürfe gegen CHLADNI anzusehen, da jede andere Hypothese uns hier eben so wenig Aufschluß giebt. Woher es kommt, daß jene Massen in den glänzenden Zustand versetzt, und so heftig erhitzt werden, wissen wir noch gar nicht; aber das Ansehen der ganzen Erscheinung läßt schließeln, daß die Masse, wenn sie sich als Feuerkugel zeigt, flüssig ist, und Dämpfe, oft als Rauch aus der Kugel hervorbrechend, entwickelt. Ein solcher Rauch scheint auch der dunklere Theil des Schweifs zu seyn, und sein Hervorbrechen an einer bestimmten Stelle kann wohl die Richtung der Bewegung mit bestimmen; denn wenn die Kugel mit Dämpfen gefüllt, überall den Druck dieser elastischen Masse leidet, nur an der Seite nicht, wo die Dämpfe hervorbrechen, so muß durch die Rückwirkung die Kugel nach der entgegengesetzten Seite fortgehen. Daher scheint es auch zu kommen, daß die Feuerkugel nach einer Explosion, wobei sie nicht ganz zertrümmert wird, ihre Richtung ändert, indem vermuthlich der Dampfstrom dann an einer andern Stelle der Oberfläche hervorbricht, und eben dadurch die Kugel nach einer andern Richtung zurücktreibt. So möchte ich (theils den Beobachtungen gemäß, wo z. B. bei der Feuerkugel 1783 Explosion und geänderte Richtung gleichzeitig eintraten, theils auch auf allgemeine Principien gestützt) auch die zuweilen angegebene sprungweise geänderte Bewegung der Feuerkugeln lieber erklären, als nach

CHLADNI'S Ansicht aus der Compression der Luft, welche ein Zurückstoßen bewirke; denn dieses Zurückstoßen scheint mir mit den Bewegungsgesetzen eines nach allen Seiten freien Fluidi unvereinbar zu seyn¹.

Zu den Gründen, welche gegen den irdischen Ursprung der Feuerkugeln und Sternschnuppen sprechen, kommt nun auch noch die aus den neuesten Beobachtungen der Sternschnuppen sehr klar hervorgehende Ueberzeugung², daß sich in ihrer relativen Bewegung gegen die Erde der Einfluß der eigenen Bewegung der Erde verrathe, so daß unter den Sternschnuppen wenigstens, viel mehrere zu seyn scheinen, die sich relativ der eigenen Bewegung der Erde entgegen, als ihr gemäß bewegen. Es wäre wohl der Mühe werth, auch auf die Feuerkugeln diese Untersuchung auszudehnen und die vollkommene Berechnung über die wahre Bewegung der Feuerkugeln und Sternschnuppen im Raume, ganz durchzuführen, indem man aus der bekannten Bewegung der Erde und der relativen Bewegung dieser Meteore die absolute Bewegung der letztern herleitete. Das daraus hervorgehende Resultat würde dann freilich doch noch durch die Anziehungskraft der Erde modificirt seyn, aber einige Folgerungen, vorzüglich über die eigenthümliche Geschwindigkeit, mit welcher die Masse des Meteors sich, bevor sie der Erde so nahe war, fortbewegte, würden sich doch wohl ergeben. Grofs muß diese Geschwindigkeit seyn, da z. B. die, welche unter einem bedeutenden Winkel von der Richtung der Erde abweichen, dennoch sehr schnell über der Erde fortziehen und also aufser jener Bewegung, mit welcher sie die Erde begleiten, auch noch eine auf diese Richtung senkrechte Geschwindigkeit besitzen. Wenn diese Körper an der Erde vorbei gehen, so müssen sie vorzüglich dann lange sichtbar bleiben, wenn entweder ihre Bewegung mit der Bewegung der Erde gleich schnell und nach derselben Richtung gehend ist, oder wenn wenigstens die aus ihrer wahren Bewegung durch Zerlegung der Geschwindigkeit hervorgehende, mit der Bewegung der Erde parallele Geschwindigkeit der Geschwindigkeit der Erde beinahe gleich ist. Ein solcher die Erde eine

¹ Vergl. MÜNCKE in Schweigg. Journ. XXV. 20.

² BRANDES Unterhalt. für Freunde der Physik und Astronomie 1stes Heft. S. 58.

Zeit lang begleitender, fast immer aber doch noch relativ gegen sie schnell fortrückender Körper, muß offenbar sich der Erde auch mehr nähern und alle die Einwirkungen, die hier statt finden können, vollkommener erleiden.

Dieser wichtigen Gründe für den kosmischen Ursprung der Feuerkugeln ungeachtet, haben doch auch neuerlich noch einige Physiker den irdischen Ursprung dieser Meteore vertheidigt. Unter diesen nenne ich hier vorzüglich EGEN¹, dessen Gründe, sofern sie hierher gehören², vorzüglich folgende sind. 1. Die große Entfernung dieser Meteore von der Erde sey meistens aus unsichern Beobachtungen abgeleitet. Dieser Einwurf hat wenig Kraft; denn wenn man auch bei der einen und bei der andern Feuerkugel es zweifelhaft machen kann, ob die Höhe bis auf eine Meile genau sey, so hiesse es doch gegen alle Wahrscheinlichkeit streiten, wenn man sagen wollte, bei so vielen Phänomenen habe sich allemal eine zu große Höhe ergeben. Und diese Behauptung erscheint um so grundloser, da selbst die weiten Gegenden, in welchen ein solches Phänomen sichtbar gewesen ist, Zeugniß für seine ungeweine Höhe geben, und die Beobachtungen der Sternschnuppen jetzt sich ebenfalls als jene ungeweine Höhe bekräftigend zeigen. 2. Die Bahn der Meteore scheine immer den Bedingungen der von der Erde aus geworfenen Körpern gemäß zu seyn. Wenn die Wurfbewegung von der Oberfläche der Erde ausgegangen ist, sagt EGEN, so ist die Projection der Wurflinie nothwendig ein größter Kreis, und daß diese bei den Feuerkugeln davon verschieden sey, erhelle wenigstens nicht aus den Beobachtungen. Hier ist nun erstlich zu bemerken, daß bei kurzen Bahnen, und vollends bei minder genauer Beobachtung wohl die Abweichungen vom größten Kreise leicht unbemerkt bleiben konnten; zweitens daß der Weg der Feuerkugeln aber auch wirklich nicht immer einen größten Kreis als Projection dargeboten hat, wie das Beispiel der Feuerkugel vom 18. Aug. 1783 zeigt, die von ihrer Richtung abwich, als die Explosion statt gefunden hatte; aber drittens ist auch der theoretische Satz selbst nicht genau richtig, indem, wenn eine mit elastischen Stoffen gefüllte Kugel

1 Gilb. LXXII. 376.

2 Die aus den Bestandtheilen der Meteormassen hergenommenen Gründe lasse ich hier aus den Augen.

zuerst nach einer bestimmten Richtung fortgeht, gewifs beim Zerspringen die Bahnen der einzelnen Theilchen, selbst auf die Erdoberfläche projectirt, ganz ungleich ausfallen.

Einen wichtigern Einwurf könnte man aus dem nach dem Verschwinden dieser Meteore übrig bleibenden Schweife hernehmen, der gewöhnlich gar nicht fortzurück zu pflegen pflegt oder wenigstens nicht so schnell vorrückt, als es die eigene Bewegung der Erde fordert. Wenn eine Sternschnuppe in 10 Meilen Höhe nahe bei meinem Zenith verschwindet und der Schweif bleibt auch nur 2 bis 3 Secunden sichtbar, so sollte er mir, wenn ich mit der bewegten Erde an ihm vorbei eile, viele Grade weit unter den Sternen fortzurücken scheinen, was keineswegs der Fall ist. Ein Schweif, der so wie am 23. Oct. 1805 oder am 11. Dec. 1741 eine Viertelstunde lang dauerte, müßte, weil die Erde sich unterdeß um Tausende von Meilen von ihm entfernte, längst unsichtbar geworden seyn, und man sieht daher, daß diese Schweife die Erde begleiten. Es erhellet aus dieser großen Verschiedenheit zwischen der schnell fortziehenden Feuerkugel und dem stillstehenden Schweife, daß man dem letztern eine ganz andere Beschaffenheit als der erstern beilegen muß. Der Schweif begleitet die Erde und muß daher sich in einem umgebenden Medio befinden, das dicht genug ist, diese vermuthlich ungemein dünne Materie mit fortzuführen, und wir haben also Hoffnung, durch Beobachtungen auszumitteln, wie hoch hinauf noch eine dazu hinreichend dichte Materie vorhanden ist. Die eigene Bewegung der Schweife, die nur selten und nie in erheblichem Maße statt findet, scheint von zwei verschiedenen Ursachen abzuhängen, nämlich von einem geringen Zurückbleiben hinter der Erde, und von kleinen Explosionen der vielleicht im Schweife noch übrigen dichtern Theilchen. Das langsame Fortrücken gegen Süden, welches der Schweif am 23. Oct. 1805 zeigte, und das doch immer einige Meilen betragen mochte, konnte nach der damaligen Richtung der Erde wohl so erscheinen, wenn der Schweif sich ein wenig langsamer als die Erde bewegte, aber hätte freilich in einer einzigen Secunde mehr betragen müssen, als es in 15 Minuten betrug, wenn der Schweif ohne alle Bewegung gewesen wäre, oder die Erde gar nicht begleitet hätte. Eine wichtigere Ursache der Veränderung des Schweifes scheint aber in kleinen Explosionen zu liegen, die einen Theil des Schweifes eben so, wie früher einzelne Theile

der Kugel, nach einer Seite hin stoßen; indefs sind damit die Biegungen des ganzen Schweifs nicht zu erklären, wenn sie so wie bei einer von mir beobachteten Sternschnuppe¹ als ein allmähliges Zusammenkrümmen des ganzen Schweifs erscheinen.

Viel Unerklärliches also bleibt noch immer hier übrig, und künftige Beobachtungen können uns noch viele Belehrung gewähren. Zu diesem Unerklärlichen gehört auch der, oft erst mehrere Minuten nach dem Zerspringen gehörte Knall, von welchem es ganz unglaublich scheinen würde, daß er sich durch die so in 6 oder 8 Meilen Höhe so ungemein verdünnte Luft stark genug fortpflanzen könnte, wenn nicht zahlreiche Erfahrungen zeigten, daß es dennoch wirklich so sey.

Obgleich aber die Frage, ob die Feuerkugeln irdischen Ursprungs sind, hiernach wohl verneinend entschieden zu seyn scheint, so könnte man nun doch ihren Ursprung noch näher bestimmen wollen, und hat deshalb gefragt, ob sie vom Monde zu uns herüber geworfen seyn könnten. Unmöglich wäre das zwar nicht, aber theils macht die große Zahl der auf die Erde fallenden Meteorsteine dieses unwahrscheinlich, theils auch der Umstand, daß nur die unter sehr bestimmtem Winkel vom Monde ausgeworfenen Körper die Erde erreichen könnten, und es ist daher nicht glaublich, daß sie von dort ihren Ursprung haben².

Aber wenn gleich die Feuerkugeln, aus denen feste Massen auf die Erde herabfallen, nicht ursprünglich der Erde angehören, so ist es doch noch zweifelhaft, ob gerade alle Feuerkugeln und Sternschnuppen ganz einerlei Natur haben. Vorzüglich verdiente es eine eigene Untersuchung, wozu es noch an hinreichenden Beobachtungen fehlt, ob die Feuerkugeln, die bei großen Revolutionen in der untern Atmosphäre gesehen sind, in solchen Höhen entstehen, wie die, von welchen die oben angeführten Beobachtungen Nachricht geben. Da doch schwerlich diese Feuerkugeln Ursachen der Stürme und tiefen Barometerstände seyn könne, so muß man vielmehr wohl annehmen, daß sie eben den Ursachen ihr Entstehen verdanken, welche jene Unruhe in der untern Luft hervorbringen; dann aber sind diese

¹ Versuche die Entfernung, Geschwindigkeit und Bahnen der Sternschnuppen zu bestimmen, von BENZBERG und BRANDES S. 35.

² Gilb. XIV. 38.

Feuerkugeln Irdischen Ursprungs. — Doch es ist noch zu früh, darüber etwas Entscheidendes zu sagen. Auch darüber, ob Feuerkugeln eine Aenderung der Temperatur in der untern Atmosphäre bewirkt haben, wage ich nichts zu behaupten, obgleich CHLADNI Beispiele, wo größere Wärme gefolgt sey, anführt.

Daß RITTER's Behauptungen über ihre dem magnetischen Meridian parallele Richtung über gewisse Perioden, wo sie häufiger erscheinen u. dgl. ohne Grund sind, hat CHLADNI¹ wohl hinreichend gezeigt.

Von den heruntergefallenen Massen wird der Art. *Meteorsteine* Nachricht geben, die Nachrichten von einzelnen Feuerkugeln hier aufzuführen, habe ich für unnöthig gehalten, weil man in CHLADNI's oben erwähntem Werke alles hierher Gehörige gesammelt findet. B.

F e u e r z e u g .

Es giebt der Feuerzeuge gar viele und von mancherlei Art, keines derselben ist seinem Wesen nach auf andere als physikalische Principien gegründet und somit für den Physiker nicht ohne Interesse oder ihm in der Hauptsache fremd; allein dennoch würde eine Aufzählung und Beschreibung derselben eben so unfruchtbar als ermüdend seyn, und außerdem werden sie selbst nebst den Grundsätzen, wonach sie construirt sind, gelegentlich erwähnt werden. Nur zwei derselben verdienen eine genauere Beschreibung, nämlich das sogenannte *chemische* und das *pneumatische*, indem das elektrische Feuerzeug (gewöhnlicher elektrische Lampe, Zündlampe genannt) und die durch DÖBEREINER erfundene Abänderung dieses Apparates, bei welchem die Entzündung des Wasserstoffgases durch Platinschwamm geschieht, an andern geeigneten Orten beschrieben werden sollen.

A. Chemisches Feuerzeug.

Hierunter versteht man denjenigen Apparat, bei welchem eine schnelle Entzündung mit Flamme durch die chemische Zersetzung des chlorsauren Kali's durch Schwefelsäure erzeugt wird. Das Ganze besteht daher meistens aus einem Kästchen

¹ Chladni über Feuermeteore. S. 66.

von verschiedener willkürlicher Gestalt, worin sich ein kleines Gefäß mit etwas Schwefelsäure befindet, und zugleich die kleinen Schwefelhölzchen aufbewahrt werden können, welche man durch Eintauchen in die Schwefelsäure entzündet. Jenes Gefäß ist meistens ein kleines Gläschen, welches mit einem geeigneten Stöpsel verschlossen wird, damit die Schwefelsäure nicht zu viel Wasser aus der Luft anzieht, womit sie sich wegen ihrer starken Affinität zu demselben begierig verbindet, dadurch aber zur Erzeugung einer Entzündung unbrauchbar wird. Die Schwefelsäure ist ferner sehr ätzend, und richtet daher leicht Schaden an, wenn sie verschüttet wird, auch pflegt das Entzünden der Schwefelhölzchen durch dieselbe mit einigem Knistern verbunden zu seyn, wodurch leicht kleine Quantitäten derselben umhergespritzt werden, wenn sie in zu großer Menge an die Schwefelhölzchen gebracht wird. Um dieses zu vermeiden und da es nur einer sehr geringen Quantität derselben zur Entzündung der Schwefelhölzchen bedarf, pflegt man etwas gewaschenen Kiessand, ungleich besser aber etwas Asbest auf den Boden der Gläschen zu bringen, damit hierdurch die Schwefelsäure aufgesogen werde, und nur eine geringe Quantität derselben an die Hölzchen übergehe. Durch längeren Gebrauch wird die Schwefelsäure theils verbraucht, zuweilen zieht sie aber durch wiederholtes Eröffnen des Gläschens und hierdurch bewirkten freien Zutritt der feuchten Luft zu vieles Wasser an, welches sie für die Folge untauglich macht. Im ersteren Falle ist nichts weiter erforderlich, als wieder einige Tropfen Säure hinzuzugießen, im letzteren aber thut man wohl, die wässerige Flüssigkeit erst aus dem Gläschen zu tröpfeln, auch einige Schwefelsäure nachzuschütten, damit diese das überflüssige Wasser absorbire, diese wässerige Säure wieder abzugießen, und eine geringe Quantität frischer Säure wieder in das Gläschen zu bringen. Daß man hierbei wegen der starken ätzenden Eigenschaft der Schwefelsäure mit gehöriger Vorsicht verfahren müsse, um sich und die umliegenden Gegenstände gegen Verletzungen zu sichern, versteht sich von selbst.

Die *Zündhölzchen*, welche gegenwärtig in großer Menge fabrikmäßig verfertigt werden, sind gewöhnliche Schwefelhölzchen mit der durch Zutritt der Schwefelsäure sich entzündenden Mischung an einen Ende. Diese Mischung besteht in der Hauptsache aus chlorsaurem Kali und Schwefelblumen, wel-

che gemengt und durch irgend ein Bindemittel an den Enden der Hölzchen festgeklebt wird. Die gewöhnlichen Angaben für diese Mischung sind 60 Th. chlorsaures Kali, 14 Th. Schwefelblumen, 14 Th. Benzoecharz, etwas weniges Tragantenschleim und Zinnober; oder 30 Th. chlorsaures Kali, 10 Th. Schwefel, 8 Th. Zucker, 5 Th. arabischer Gummi und etwas Zinnober¹. Diejenige Mischung, welche zu den gewöhnlichen, fabrikmäßig gut bereiteten, Hölzchen genommen wird, besteht aus 30 Th. Schwefelblumen, 4 Th. Zinnober, 4 Th. arabischem Gummi, 3 Th. Gummi Tragant, 3 Th. Kolophonium, jedes fein gerieben, dann gemengt und abermals gerieben, dann 21 Th. fein geriebenes chlorsaures Kali zugesetzt, gut gemengt, mit wenigem Wasser zu einem dicken Brei gerührt, jedes Schwefelhölzchen mit demjenigen Ende, woran der Schwefel festsetzt, in die Masse eingetaucht und getrocknet². Sobald das chlorsaure Kali zugesetzt ist, darf das Gemenge nur im feuchten Zustande gerieben werden, weil sonst leicht eine höchst gefährliche Explosion entstehen kann. Die Ursache der Entzündung liegt darin, daß die Schwefelsäure das chlorsaure Kali durch heftige chemische Einwirkung in Chloroxyd, saures schwefelsaures Kali und oxydirtchlorsaures Kali zerlegt, wobei das sich entwickelnde Chloroxyd die damit verbundenen brennbaren Körper des Gemenges entzündet³. Diese Entzündung theilt sich dann dem Schwefel der Hölzchen und zuletzt diesen selbst mit, weswegen man diese Zündhölzchen zuerst als gemeine Schwefelhölzchen verfertigt, und dann eine geringe Quantität der zündenden Substanz an den Schwefel bringt.

B. Pneumatisches Feuerzeug.

Das pneumatische Feuerzeug (*briquet pneumatique*) auch *Tachopyrion* genannt, hat seinen Namen davon, daß die Compression der Luft die Entzündung der leicht feuerfangenden Körper in demselben bewirkt. Ueber die Ursache des ganzen Phänomens und die dasselbe begleitenden Umstände war man nur im Anfange zweifelhaft; gegenwärtig ist es durch genügende Thatsachen erwiesen, daß die durch Compression der

¹ Gmelin's Handb. d. Chemie Ste Aufl. I. S. 558.

² DINGLER polytechnisches Journ. XVIII. 121.

³ Gmelin a. a. O.

Luft frei werdende Wärme aus dieser letzteren ausgeschieden wird, und zugleich Ursache des Entzündens leicht verbrennlicher Körper ist. Diesemnach ist denn auch das pneumatische Feuerzeug nichts anders als eine geeignete Compressionspumpe, mit einer Vorrichtung, um den Zündschwamm in denjenigen Raum zu bringen, in welchem die Luft plötzlich und stark zusammengedrückt wird. Dafs die Compression recht schnell geschehen müsse, wenn der Versuch gelingen soll, folgt schon daraus nothwendig, weil sonst die erzeugte Wärme den umgebenden dichteren Körpern mitgetheilt wird, und somit auf die leicht entzündbaren Körper keine Wirkung äußern kann. Anfangs bediente man sich der gewöhnlichen Compressionspumpen für die Windbüchsen, bald nachher aber, als die Sache wegen ihrer Neuheit Aufsehen und Beifall erhielt, verfertigte man kleine, etwa 3 Z. lange und 0,3 Z. im Durchmesser haltende messingne Feuerzeuge, welche zum Behuf des Entzündens von Zündschwamm in der Tasche getragen wurden oder auch in den Spatzierstöcken enthalten waren. Der an einem eisernen Stiele befestigte Embolus ist hierbei nur 6 bis 9 Lin. lang, hat auf seiner obern Fläche ein krummgebogenes eisernes Häkchen, welches etwa 0,75 Lin. von jener Fläche absteht und zur Befestigung des Zündschwammes dient, zugleich aber berührt der völlig hineingestofsene Embolus die untere Fläche des hohlen messingnen Cylinders nicht, sondern nähert sich demselben nur bis auf den Abstand von etwa 1 bis 2 Lin., damit der entzündete Schwamm nicht durch die Berührung des metallenen Bodens wieder erlöschen möge. Beim Gebrauche dieses Apparates ist es aber nicht blofs erforderlich, den Embolus schnell hineinzustofsen, sondern man muß ihn auch mit größter Geschwindigkeit wieder zurückziehen, damit der glühende Schwamm nicht das wenige, in dem engen Raume befindliche Sauerstoffgas verzehre und wieder erlösche. Zum Gelingen des Versuches ist nämlich keineswegs ein so genaues Schließens des Embolus erforderlich, dafs keine Luft neben demselben entweiche, vielmehr wird die Entzündung dennoch erfolgen, wenn auch die nach dem Stofse in dem Raume befindliche Luft keinen hohen Grad der Dichtigkeit mehr besitzt, unter der Voraussetzung, dafs nur die Compression selbst schnell genug geschieht. Obgleich die Entzündung des Schwammes mittelst dieses Werkzeuges mit großer Sicherheit erfolgt, so hat die praktische An-

wendung desselben doch in so fern etwas wider sich, als man jederzeit einen kräftigen Stofs anwenden, und dabei das eine Ende des Feuerzeuges auf einen harten Gegenstand, etwa eine Tisch, einen Stein u. dgl. stützen muß, um hinlänglichen Widerstand zu finden¹. Diese kleine, durch den Reiz der Neuheit früher sehr allgemein verbreiteten Tachopyrien sind daher bald wieder aus der Mode gekommen, beweisen indess den wichtigen Satz, daß zur Entzündung des Schwammes eine so sehr bedeutende Compression der Luft gar nicht erforderlich ist, indem bei der geringen Länge jener kleinen Werkzeuge der Raum, in welchem der Schwamm entzündet wird, keine in einem hohen Grade vielfach verdichtete Luft enthalten kann. Wir wollen des Beispiels wegen annehmen, der Raum zwischen dem Embolus und dem Boden des messingnen Cylinders betrage 3Z. und dieser sey am Ende des Stosses so weit vermindert, daß sich der Schwamm noch in einem Raume von 2 Lin. befunden habe, so war die Verdichtung der Luft, wenn man keinen Theil derselben als entwichen annimmt, nicht mehr als die achtzehnfache, welche in der Wirklichkeit aber leicht auf $\frac{2}{3}$ also auf eine zwölfwache herabgesetzt werden kann.

Diejenigen Tachopyrien, welche gegenwärtig mit Recht als unentbehrliche Apparate der physikalischen Cabinette angesehen werden, sind zuerst von DUMOUTIER in Paris verfertigt². Sie bestehen aus einem gläsernen Cylinder, welches Material jener Künstler deswegen wählte, weil man begierig war, den bei der Compression sich zeigenden Nebel und die damit leicht verbundene Lichtentwicklung zu sehen. Der hohle gläserne Cylinder aa ist 8 bis 10 Zoll lang, 2 bis 3 Lin. im Lichten weit und von etwa 2 bis 3 Lin. Glasesdicke, wobei sich von selbst versteht, daß diese Masse nur die mittleren sind, und hierüber

1 NEWMARCH in Gloucestershire hat vor Kurzem Schießgewehrs mit kleinen Tachopyrien versehen, um das Pulver durch bloße Compression der Luft zu entzünden. Bei diesen liegt eine kurze Compressionspumpe im Flintenkolben, deren Stempel durch eine starke gespannte Spiralfeder fortgestoßen wird, und die comprimirt Luft in einen engen, mit der Pulverkammer communicirenden Canal preßt, um das Pulver zu entzünden. S. Lond. Journ. of Arts 1826. Sept. p. 72. Die Erfindung wird aber keinen Beifall finden, weil sich leicht ergibt, daß sie in vielfacher Hinsicht nicht zweckmäsig ist.

2 Vergl. G. XXV. 118.

keine feste Norm besteht. Der Cylinder wird mittelst einer kupfernen Regel mit Schmirgel warm ausgeschliffen, um genau cylindrisch zu seyn, bei welcher Operation schlecht gekühltes Glas leicht zu zerspringen pflegt, dann wird er oben mit einer messingnen Fassung und dem buxbaumenen Knopfe b völlig luftdicht verschlossen, jedoch meistens so, daß man den Knopf abschrauben, und somit auch das obere Ende öffnen kann, und am untern Ende wird gleichfalls eine messingne Fassung angebracht. Der Embolus ist 1,25 bis 1,5 Zoll lang, mit Leder überzogen und geölt, endigt oben in einen messingnen Ring so, daß eine Vertiefung entsteht, in welche ein Stück Schwamm gebracht werden kann, und damit dieser den Boden des Cylinders beim Hineinstoßen des Embolus nicht berührt, ist in der messingnen Fassung des hölzernen Griffes bei cc ein Stück Kork angebracht, welches den etwaigen Stofs gegen das Ende des Cylinders minder hart macht. Auch bei diesem Apparate ist zum Gelingen des Versuches keineswegs erforderlich, daß der Embolus absolut schliesse, und keine Luft entweichen lasse, vielmehr habe ich mehrere Tachopyrien versucht, bei denen ich den Embolus ohne große Anstrengung bis auf den Boden des Cylinders drücken konnte, und dennoch erfolgt die Entzündung unfehlbar, wenn der Stofs nur rasch genug vollführt wird.

Die physikalischen Gesetze, worauf das pneumatische Feuerzeug gegründet ist, können hier nicht erörtert werden, indem sie mit der ganz allgemein stattfindenden Entbindung der Wärme durch Compression innigst verwebt sind¹, und es bleibt daher nur noch übrig, die Geschichte der Erfindung desselben und die wichtigsten damit beobachteten Erscheinungen näher anzugeben. Man wußte schon längst, namentlich aus DALTON'S Versuchen, daß durch Compression der atmosphärischen Luft Wärme erzeugt werde, allein nicht auf diesem Wege, sondern höchst wahrscheinlich durch bloßen Zufall ist die Entdeckung des Tachopyrion gemacht. Ein Arbeiter in der Gewehrfabrik zu Étienne en Forez scheint nämlich die Wärme wahrgenommen zu haben, welche die in der gemeinen Ladungspumpe einer Windbüchse comprimirt Luft hergiebt, und hat wahrscheinlich auf diese Weise zuerst den Zündschwamm zum Brennen ge-

1 S. Wärme, Erzeugung derselben durch Compression.

bracht¹. MOLLET, Prof. der Physik in Lyon, lernte die Erscheinung kennen, und theilte die Nachricht darüber nach Paris mit², wo die Sache großes Aufsehen erregte, und der Prof. CHARLES vom Institute veranlaßt wurde, sie näher zu prüfen. Inzwischen glaubte man anfangs, die in einer Windbüchse comprimirt und dann explodirende Luft bewirke die Entzündung, welches aber durch die Versuche nicht bestätigt wurde, und man war daher in Paris geneigt, die ganze Angabe für ungegründet zu halten, bis ein Augenzeuge, welcher die Versuche bei MOLLET gesehen hatte, sie wiederholte, und dadurch die richtige Ansicht derselben herbeiführte. Von nun an wurde diese Entdeckung sowohl in Frankreich, als auch in Deutschland bekannt³, und man wiederholte sehr allgemein diese interessanten Versuche. Der erste, welcher sich in Deutschland damit beschäftigte, und die Resultate seiner Versuche bekannt machte, war ERMAN⁴. Ihm gelang die Entzündung des Zündschwammes, wenn er ihn oben in die fest verschlossene Oeffnung einer gemeinen Compressionspumpe der Windbüchse brachte, zwar vollkommen, wenn er die Luft nur etwa auf das Zwölfwache verdichtete, weil er aber zugleich gefunden zu haben glaubte, daß andern Substanzen keine bedeutende Temperaturerhöhung mitgetheilt werde, wenn er sie statt des Schwammes in dessen Raum brachte, und er selbst das leichtflüssige Rose'sche Metall nicht zum Schmelzen bringen konnte, so leitete er das Entzünden des Schwammes von einer Reibung der Luft an den feinen Fasern des Schwammes und einer hiermit verbundenen Zusammendrückung und Biegung derselben ab, wogegen sich aber gleich anfangs WREDE erklärte⁵. Eine lange bei den Physikern herrschende Ansicht war, daß durch Compression der Luft das Sauerstoffgas ausgeschieden werde, und die Entzündung bewirke, worauf auch der Umstand hindeutete, daß durch solche Gasarten, worin sich jenes Gas nicht befand, keine Entzündung hervorgebracht werden kann; inzwischen ist gegenwärtig genugsam erwiesen, daß auch diese allerdings durch Verdichtung

1 J. d. Ph. LXII. 256.

2 Ebend. LVIII. 487.

3 IZARN Lithologie atmosphérique. Par. 1803. 8.

4 G. XVIII. 240.

5 G. XVIII. 405.

Wärme hergeben, wobei die nicht erfolgende Entzündung aus andern Gründen leicht erklärbar ist.

Weit genügere Resultate erhielt GILBERT¹ mit einer eigends für diesen Zweck verfertigten eisernen Compressionspumpe. Es gelang ihm hiermit nicht bloß den Schwamm zu entzünden, sondern auch das Rose'sche Metall zu schmelzen, Baumwolle allein oder mit Kolophonium, Schwefelblumen und Schießpulver bestreuet, oder mit Terpentinöl und Schwefeläther benetzt, Leinwand und Papierschnitzeln zu verkohlen, und in den meisten Fällen aus dem entstandenen Rauche zu folgern, daß ein wirkliches Brennen statt gefunden haben mußte. Hieraus ergab sich nun evident, daß die Ursache der Erhitzung nicht in einer Compression oder Biegung der festen Körper, auch nicht in einer Reibung der Luft an diesen oder an den festen Wänden der Compressionspumpe und eben so wenig in einer Reibung des Embolus an den letzteren liegen könne, sondern daß die Wärme einzig und allein aus der comprimierten Luft selbst ausgeschieden seyn mußte. Gleich entscheidende Versuche wurden auch in Paris angestellt, unter denen die von Biot die umfangendsten und wichtigsten sind. Dieser Physiker ließ sich eine eiserne Compressionspumpe exprefs hierfür verfertigen, und oben mit einer dicken Spiegelglasplatte bedecken, konnte indess den Lichtschein, welchen er bei der Compression der atmosphärischen Luft erwartete und in andern Versuchen wahrgenommen haben wollte, wahrscheinlich der schnellen Bewegung halber nicht sehen. Sehr interessant dagegen war es, daß er die vermuthete Entzündung des Knallgases durch bloße Zusammendrückung in diesem Apparate bewerkstelligte, wobei aber in den beiden ersten Versuchen die Glasscheibe zerschlagen und in einem dritten selbst die Pumpe zerrissen wurde².

Auch nach Biot's Ansicht, welche seitdem aus hinreichenden Gründen allgemein angenommen ist, wird die bei den genannten Versuchen frei werdende Wärme zunächst bloß aus der plötzlich verdichteten Luft ausgeschieden, indem der aus den zusammengedrückten festen Körpern hinzukommende Antheil als unbedeutend vernachlässigt werden kann. Seitdem sind die Versuche mit dem pneumatischen Feuerzeuge zwar noch oft wieder-

1 Annalen XVIII. 407.

2 Ann. de Chim. LIII. 321.

holt, allein es ist nichts Neues durch dieselben mehr aufgefunden. Als die bedeutendsten unter diesen verdienen etwa die von LE BOUVIER - DESMORTIER genannt zu werden, welcher fand, daß die Entzündung nicht erfolgte, wenn das obere Ende des Feuerzeuges nicht luftdicht schloß, wohl aber dann, wenn der Embolus Luft neben sich entweichen liefs. Letzteres ist jetzt allgemein bekannt, denn es giebt wohl kaum ein solches Werkzeug, welches bei dem erforderlichen heftigen Stofse nicht einen geringeren oder größeren, oft einen bedeutenden, Antheil der Luft entweichen ließe. Merkwürdig bleibt es aber dennoch, daß LE BOUVIER - DESMORTIER in den Embolus der Länge nach zuerst einen, dann zwei, dann drei und endlich gar vier Reifen von 0,25 Lin. Tiefe einschneiden liefs, und dennoch erfolgte die Entzündung des Schwammes, hörte aber auf, als alle vier Reifen ihrer Größe nach in einen einzigen vereinigt wurden¹.

Setzen wir zuvörderst die Richtigkeit jener oberen und dieser letzteren Behauptung voraus, welche auf den ersten Blick mit einander unverträglich scheinen, so ist die Erklärung von jener schwieriger als von dieser. Es folgt nämlich aus pneumatischen Gesetzen, daß eine gewisse Zeit erfordert wird, bis die auf der obern Fläche des Embolus ruhende Luftschicht nach den Oeffnungen am Rande desselben abfließt, und man kann sich daher auf gewisse Weise vorstellen, daß zunächst nur die in der ganzen Länge des hohlen Cylinders befindlichen Luftsäulen, deren Basis auf den Oeffnungen im Embolus ruhet, bei der Bewegung des letzteren entweichen, während die in der Mitte desselben aufliegende Luftsäule zusammengepreßt wird, und die Entzündung des Schwammes bewirkt, welches um so leichter geschehen kann, als oben angegebenen Erfahrungen nach kaum eine zwölffache Verdichtung der Luft hierzu erfordert wird. Die hierbei angenommenen Voraussetzungen sind zwar nicht strenge richtig, allein doch genähert; eine Berechnung aber, wie stark die Verdichtung bei einer gegebenen Weite des Cylinders und der Einschnitte in den Embolus, desgleichen einer bestimmten Geschwindigkeit der Comprimirung sey, würde wegen der zunehmend vermehrten Dichtigkeit auf größere Schwierigkeiten führen, als die Aufgabe werth ist. Daß aber

1 G. XXX. 268 ff. Vergl. XXXIII. 223 ff.

die vier in einen einzigen vereinten Einschnitte, wenn anders der Raum dieses letzteren der Summe jener ersteren genau äquivalent war, keine weitere Entzündung des Schwammes zuließen, konnte darin seinen Grund haben, daß die kleineren Reifen in dem auf allen Fall elastischen Embolus durch den Gegendruck der Wandungen des Cylinders noch mehr zusammengedrückt wurden, und somit als sehr enge Canäle der durchströmenden Luft in einen gröfseren Widerstand entgegensezten, als ein einziger weiter Canal, eine Erklärung, welche auch LE BOUVIER-DESMORTIER von der Erscheinung gegeben hat. Ungleich schwieriger ist es, die Ursache aufzufinden, warum die Entzündung des Schwammes nicht statt findet, wenn das Feuerzeug oben nicht genügend verschlossen ist, vorausgesetzt daß die Quantität der dort entweichenden Luft nicht gröfser ist als diejenige, welche neben dem Embolus oder durch die Reifen in demselben ausströmt. Die einzige Erklärung, welche mir unter der angegebenen Bedingung als möglich erscheint, ist folgende. Wenn das obere Ende des Cylinders genau verschlossen ist, so mag der zu entzündende Schwamm entweder nahe unter demselben oder über dem beweglichen Embolus angebracht seyn, stets wird er sich in einer an Dichtigkeit zunehmenden Luft befinden, und zwar im ersteren Falle noch mehr als im letzteren, wenn die entweichende Luftmenge nicht über die nothwendige Grenze hinausgeht. Entweicht dagegen Luft neben dem verschließenden Knopfe, und befindet sich der Schwamm dicht unter demselben, so wird gerade in seiner Umgebung eine stete Expansion der Luft durch ihr der Stärke der Compression proportionales Entweichen stattfinden, welches die Wirkungen der Zusammendrückung mindestens zum Theil wieder aufhebt. Ist aber der Schwamm über dem Embolus oder in einer Höhlung im oberen Theile desselben befestigt, so ist der Embolus das Bewegte, und die zunächst über ihm befindliche Luftschicht wird am stärksten comprimirt seyn, weil doch allezeit einige, wenn auch sehr kurze Zeit erforderlich ist, bis die beginnende und bei fortgesetzter Bewegung des Embolus stets wachsende Dichtigkeit sich der in der ganzen Länge des Cylinders befindlichen Luftsäule mittheilt. Wenn nun Luft neben dem oberen verschließenden Knopfe der Compressionspumpe entweichen kann, so wird bei zunehmender Verdichtung der Luft das Maximum ihrer Dichtigkeit über der Oberfläche des Embolus, das Mini-

zum unter dem verschließenden Knopfe seyn, und kann also bei stets dauernder Expansion derselben keine Entzündung erzeugt werden, wo sich auch immer der Schwamm befinden mag.

Man bemerkt allezeit oder mindestens oft einen Lichtschein und einen bedeutend dichten Dunst im pneumatischen Feuerzeuge, war aber nicht allezeit über die Ursache dieser Erscheinung einig, indem LE BOUVIER-DESMORTIER sogar den Dunst für ausgeschiedenen Wärmestoff halten wollte. Wenn man aber berücksichtigt, was für eine bedeutende Wärme durch die schnelle Compression der Luft frei wird, so muß es als notwendig erscheinen, daß eine hinlängliche Menge des allezeit vorhandenen Oeles oder selbst vom Leder des Kolbens in Dampf verwandelt wird, welcher durch augenblicklich erfolgende Abkühlung als Dunst zum Vorschein kommt. Ist außerdem Zündschwamm oder ein sonstiger leicht feuerfangender Körper im Feuerzeuge befindlich, so entsteht allezeit eine mehr oder minder vollständige Verbrennung, woraus der Dunst oder eigentliche Rauch nur zu leicht erklärbar wird. Das wahrgenommene Licht aber ist entweder ein eigentlicher Funke, und entsteht im Momente des Erglühens des Schwammes, oder es ist ein bloßer Lichtschein, welchen man am leichtesten aus einem schwachen Glühen des gebildeten Dampfes erklären oder für eine Art Phosphorescenz halten könnte. Letzteres müßte für einige Fälle alsdann angenommen werden, wenn es gegründet ist, daß nach DESSAIGNE'S Versuchen¹ auch schnell und stark comprimirtes Wasser nicht bloß Wärme frei macht (woran nicht zu zweifeln ist), sondern auch einen schwachen Lichtschein wahrnehmen läßt. Einige Physiker haben diese Lichtentwicklung, so wie alle Erscheinungen, welche das Tachopyrion darbietet, mit dem bekannten Windbüchsenlichte in Verbindung bringen wollen, allein von diesem letzteren, noch immer etwas räthselhaften, Phänomene wird noch besonders gehandelt werden. M.

F i l t r i r e n .

Seihen, Durchseihen; *Filtratio*, *Colatio*; Filtration; *Filtration*.

¹ J. de Phys. LXXIII. 41.

Das *Filtriren*, auch die *Filtrirung*, *Durchseihung* genannt, bezeichnet den Act des langsamen Durchlaufens, Durchdringens der Flüssigkeiten durch schwammige, poröse und lockere Körper, wobei die den Flüssigkeiten mechanisch beigemengten Substanzen durch den Widerstand, welchen die nahe bei einander liegenden Theile des Filtrirungsapparates ihnen entgegensetzen, zurückgehalten werden, die Flüssigkeiten selbst aber durch die feinen Zwischenräume dringen, und daher in der Regel hell und gereinigt wieder zum Vorschein kommen. Solche Substanzen aber, welche mit den Flüssigkeiten chemisch verbunden oder auch nur vollständig von ihnen aufgelöst sind, können durch ein Filtrum nicht abgeschieden werden. Im Allgemeinen dient daher das Filtriren dazu, trübe Flüssigkeiten von den mechanisch beigemengten Körpern zu trennen, sie reiner und heller zu machen; in vielen Fällen aber, wenn die lockeren filtrirenden Körper zum Theil aus Substanzen bestehen oder mit solchen gemengt sind, welche von den durch sie dringenden Flüssigkeiten aufgelöst werden, so nehmen diese von jenen eine größere oder geringere Menge auf, und können sonach unreiner seyn als sie vor dem Filtriren waren; meistens sind sie zwar hell, zuweilen aber werden sie durch unreine Filtrirungssubstanzen selbst trübe.

Um die Uebersicht der verschiedenen Filtrirungsprocesse zu erleichtern und von den sehr mannigfaltigen Arten derselben die wichtigsten hervorzuheben, lassen sie sich am besten in *natürliche* und *künstliche* abtheilen. Die in der Natur vorkommenden Filtrirungen sind höchst zahlreich, und bestehen hauptsächlich im Durchdringen des atmosphärischen Wassers durch Sand und lockeres Erdreich. Nur in zwei Arten von Erscheinungen verdient indeß dieser Proceß vorzügliche Beachtung, nämlich zuerst bei der Bildung der Quellen und alsdann bei der Entstehung des Tropfsteinwassers. Beide sind zwar ganz eigentliche Filtrirungen, welche noch außerdem das Eigenthümliche haben, daß in beiden Fällen das reine Wasser eine größere oder geringere Menge Stoffe aus der filtrirenden Substanz aufnimmt und dadurch verunreinigt wird; weil aber jeder dieser Processe eine besondere Erläuterung verdient¹, so können sie hier nur im Allgemeinen erwähnt werden.

1 S. *Quellen und Tropfstein*.
IV. Bd.

Ausnehmend zahlreich und mannigfaltig sind die *künstlichen* Filtrirungen. Unter diese Classe gehören diejenigen Prozesse, welche in der Oekonomie, Technologie und vorzüglich der Chemie in großer Zahl und unter den verschiedensten Modificationen vorkommen, im Allgemeinen aber, hauptsächlich bei den beiden ersteren Arten, sämmtlich darauf hinauslaufen, daß man entweder feste Substanzen von einem mit ihnen vereinigten flüssigen Mittel zu scheiden sucht, oder eine mit unauflösten Stoffen verbundene Flüssigkeit von diesen zu trennen beabsichtigt, oder endlich einen Extract aus verschiedenen, meistens pulverisirten Körpern zu erhalten verlangt, wobei als Filtrirungsapparat häufig die *Realsche Extractions-Press*¹ angewandt zu werden pflegt. Häufig wird hierbei die eine der getrennten Substanzen, entweder die Flüssigkeit oder der rückbleibende feste Körper, als unbrauchbar weggeworfen, in manchen Fällen werden sie aber beide benutzt. Unter die ökonomischen Filtrirungsprozesse gehört z. B. das Durchsiehen der Milch, das Abscheiden der Molken von den käsigen Theilen, die gewöhnliche Filtrirung des Kaffee's u. dgl. m. Die bei technischen Processen und in Fabriken vorkommenden Filtrirungen sind meistens bestimmten Regeln unterworfen, welche hier nicht erwähnt werden können, und daher mögen des Beispiels wegen nur genannt werden das Absondern der Bierwürze von den Trestern, die Reinigung der verschiedenen Laugen von den beigemengten heterogenen Theilen u. dgl. Die *Filtra* (*Durchsieher*, *Seher*), deren man sich in diesen Fällen bedient, sind oft bloße leinene Tücher; Filze, dickere oder dünnere wollene Zeuge, feine Geflechte von Pferdehaaren (Haarsiebe), selbst fein durchlöchernde Bleche und zuweilen nur Strohmatten oder Strohwische, welche letzteren vor den Abflußlöchern ausgebreitet werden. Man wählt dann nach dem jedesmaligen Bedürfnisse sowohl den Stoff als auch die Gestalt, wendet aber im Großen meistens spitz zulaufende Beutel (*Filtrirsäcke*; *manica Hippocratis*) oder viereckige, in den vier Winkeln eines hölzernen Rahmens, des *Tenakels*, ausgespannte Tücher an. Auf diese Tücher wird dann auch wohl Fließpapier gelegt, welches wegen seines dichteren Gefüges und seiner die Flüssigkeiten einsaugenden Eigenschaft zu diesem Behufe am meisten geeignet ist.

1 S. *Presse, hydrostatische.*

Bei weitem am häufigsten kommt das Filtriren bei *pharmaceutischen* und *chemischen* Processen vor. Hierbei ist hauptsächlich zu beobachten, 1. dafs das Filtrum von der zu filtrirenden Flüssigkeit nicht zerstört werde, 2. dafs keine Bestandtheile von jenem in diese übergehen; 3. dafs die Flüssigkeit durch das Filtrum dringe. Hiernach sind wollene Zeuge und graues Fliespapier für alkalische Laugen nicht geeignet, wohl aber ungeleimtes Druckpapier und leinene oder auch baumwollene Zeuge; starke Säuren aber können nur durch gewaschenen feinen Quarzsand oder pulverisirtes Glas filtrirt werden. In bei weitem den meisten Fällen bedient man sich des ungeleimten Druckpapiers, welches zu diesem Zwecke vorzüglich geeignet ist, biegt dasselbe kegelförmig zusammen, oder legt es von der Mitte aus in eine Menge nach oben an Breite zunehmende Falten, stellt es in einen aus Holzstäbchen oder Glasröhrchen gefertigten kegelförmigen Filtrirkorb, oder gewöhnlicher in einen gläsernen Trichter, in welchen man zugleich einige feine Stäbchen von Glas oder Holz oder Stroh- und Gras-Hälmlchen stellt, damit das Durchsiehen nicht durch zu nahes Anliegen an die Wandungen des Trichters erschwert werde, welches übrigens bei einem gut gefalteten Filtro nicht nöthig ist ¹.

Die Filtra werden zu gar vielfachen Zwecken gebraucht, z. B. zum *Auslaugen*, *Auslösen* u. dgl., hauptsächlich aber bei den *Analysen*, um die in den Flüssigkeiten aufgelöseten Substanzen von den in ihnen unlöslichen zu scheiden. Ist es hierbei blofs um die Flüssigkeit und die in ihr enthaltenen Substanzen zu thun, so wird das Filtrum unbeachtet weggeworfen. Selten ist dieses aber der Fall, sondern meistens verlangt man nicht blofs die Flüssigkeit von den in ihr enthaltenen unauflöseten Substanzen zu trennen, sondern ist dabei zugleich auch genöthigt, die Quantität beider nach Maß und Gewicht zu bestimmen. In der Regel aber bleiben Theile der festen Stoffe am Filtro hängen, und wenn die Quantitäten dann geringe sind, so erschwert dieses eine genaue Gewichtsbestimmung. Um die letztere zu erhalten, wendet der Chemiker verschiedene, hier nicht sämmtlich zu erwähnende Mittel an, unter denen eins der gewöhnlichsten ist, das hygroskopisch wirkende Filtrum vorher auf einen

¹ Vergl. Encyclopédie methodique III. 163. KLAPROTH und WOLFF chemisches Wörterbuch I. 683.

bestimmten Grad der Wärme, z. B. die des siedenden Wassers, zu erheben, zu wiegen, nachher durch einen gleichen Hitze-grad wieder auf gleiche Weise auszutrocknen, und die Quantität der adhären- den Theile durch die Zunahme des Gewichts zu bestimmen.

Jüngsthin hat DONOVAN¹ einen Filtrir-Apparat angegeben, vermittelst dessen während der Operation des Filtrirens der Zutritt der äusseren Luft abgehalten wird, für diejenigen Fälle, in denen Bestandtheile aus derselben sich mit der zu filtrirenden Substanz verbinden könnten. Die ganze Einrichtung ist aus der Fig.
42. Figur leicht erkennbar. Es ist nämlich a b der Trichter, durch dessen etwas weite Oeffnung das Filtrum oder die das Filtriren bewirkende Substanz eingebracht, und er selbst dann mit der zu filtrirenden Flüssigkeit angefüllt wird. Das untere Ende desselben ist in das Gefäß c eingeschlirgelt, und damit die in diesem enthaltene Luft das Abfließen der Flüssigkeit nicht hindere, ist seitwärts die gebogene Röhre g angebracht, in deren Oeffnung die zweimal rechtwinklich gebogene Röhre eingeschlirgelt ist, deren anderes Ende mit einem gleichfalls eingeschlirgeln hohlen Glasstöpsel die obere Oeffnung des Trichters verschließt. Leichter und wohlfeiler wählt man eine bloße zweimal gebogene Glasröhre, und steckt deren Enden durch hohle Korkstopfer, womit man zugleich die beiden angegebenen Oeffnungen luftdicht verschließt. Hiernach steigt also die in dem Gefäße c comprimirt Luft durch das Rohr wieder über die Flüssigkeit im Trichter, so daß in beiden Räumen Luft von gleicher Dichtigkeit enthalten ist, und das Herabfließen der schwereren tropfba- ren Flüssigkeit nicht gehindert wird. Hebt man die Röhre d e in die Höhe, so kann man neue Flüssigkeit in den Trichter nachgießen. Ganz unnütz, noch weniger aber zweckwidrig construirt kann dieser Apparat nicht genannt werden, indem er nicht bloß das Verdampfen der Flüssigkeit hindert, sondern ins- besondere auch manche stark hygroskopisch wirkende Flüssigkei- ten gegen die Aufnahme der Feuchtigkeit aus der atmosphäri- schen Luft schützt. Vermittelst desselben lassen sich daher auch concentrirte Säuren leicht filtriren, in welchem Falle das untere Ende des Trichters ganz unten mit gröberem, weiter herauf aber mit zunehmend feineren Stücken zerstoßenen Glases angefüllt wird.

1 Ann. of Phil. N. S. XI. 115.

Vorzüglich hat man sich häufig bemühet, durch die Prozesse des Filtrirens trübes Wasser reiner, klarer und somit angenehmer trinkbar zu machen. Dafs völlig in demselben aufgelösete Substanzen, namentlich Salze, auf diese Weise nicht aus ihm geschieden werden können, man daher nicht vermögend ist, das Seewasser hierdurch trinkbar zu machen, entdeckte man bald, und liefs sich dieses auch aus theoretischen Gründen erwarten, wohl aber lassen sich die verunreinigenden und trübenden Substanzen hierdurch abscheiden. Weil eine solche Filtrirung in der Regel im Grofsen geschehen mufs, und keine bedeutende Kosten verursachen darf, so ahmt man hierbei am besten die natürlichen Filtrationen nach, und läfst das Wasser durch eine hinlänglich dicke Lage Sand laufen, welche leicht durch eine neue ersetzt werden kann. Allein das trübe Wasser hat in der Regel thierische und vegetabilische Stoffe aufgelöset, welche ihm einen widerlichen Geschmack geben, der Gesundheit nachtheilig sind, und durch eine solche einfache Filtrirung nicht abgeschieden werden können; dennoch aber liegt gar viel daran, hiergegen ein Mittel zu finden, da manche Gegenden kein anderes als auf solche Weise verunreinigtes Wasser haben. Als daher Lowitz die antiseptische oder fäulnißzerstörende Eigenschaft der frischen Holzkohle entdeckt hatte, benutzte man diese Substanz zu dem genannten Zwecke. Lowitz selbst wandte $\frac{1}{12}$ des Gewichtes frisch ausgeglühete und pulverisirte Holzkohle an, mischte das unreine Wasser damit und filtrirte es dann, oder er liefs dasselbe durch die festgestampften pulverisirten Kohlen filtriren¹. Es er giebt sich indels bald, dafs dieses Mittel zwar genügend, aber im Grofsen zugleich mühsam und kostspielig ist. Nachher entdeckte er, dafs ein Zusatz von Schwefelsäure die reinigende Kraft der Kohlen bedeutend verstärke, indem 24 Tropfen Schwefelsäure zu 6 gros Kohlenpulver geträpfelt die Kraft des letzteren so sehr erhöhten, dafs es nur $\frac{1}{69}$ desselben dem Gewichte nach bedurfte, um dem Wasser seinen faulen Geschmack zu nehmen. Aber auch dieses Mittel ist wegen seiner Kostbarkeit und Weitläufigkeit nicht in Anwendung gekommen, aufser in den sogenannten unveränderlichen Filtrirapparaten, welche noch eine kurze Erwähnung verdienen.

¹ Nov. Act. Pet. VI. Hist. p. 63. Ebend. X. 187. und ein ausführlicher Nachtrag ebend. XV. 326. Vergl. Ann. de Chim. XVIII. 88.

Im Anfange dieses Jahrhunderts nämlich machten SMITH, CUCHET und MONTFORT in Paris die von ihnen erfundenen Wasserreinigungsmaschinen unter dem pomphaften Namen der *unveränderlichen Filtrir-Apparate* (filtres inalterables, filtres depuratoires, fontaines filtrantes) bekannt, und zeigten auch durch einige angestellte Versuche die unglaubliche Kraft derselben, indem höchst unreines, stinkendes und mit modernden thierischen Stoffen gesättigtes Wasser oder Weingeist in die Maschine gegossen wurden, und ganz rein, klar und trinkbar abliefen. Wegen dieser Wirkungen und unter der Voraussetzung, daß die Apparate diese ihre Kraft unveränderlich beibehalten würden, schafften sich viele dieselben an, ungeachtet ihrer Kostbarkeit. Als sie aber von einigen Sachkennern aus einander genommen und näher untersucht wurden, ergab sich bald, daß sie ganz nach dem *Lowitz'schen Principe* construiert waren, und daher auf die Eigenschaft der Unveränderlichkeit durchaus keinen Anspruch machen konnten. Sie bestanden nämlich aus einer Lage Badeschwamm, um die größten Unreinigkeiten zurück zu halten, und unter dieser aus abwechselnden Schichten von Sand und Kohlenpulver, wovon der erstere die feineren verunreinigenden Stoffe mechanisch zurück hielt, letzteres aber die eigentliche Zerstörung derselben bewirkte. Es ergab sich sonach eben so klar aus theoretischen Gründen als aus genauen prüfenden Versuchen einer eigends hierzu vereinigten Commission, daß sie ungeachtet ihrer anfänglichen auffallenden Wirkungen ihre Kraft bald verlieren mußten, weil die Badeschwämme verstopft und die Kohlen allmählig mit den verunreinigenden Substanzen gesättigt wurden¹. In einigen, etwas längere Zeit wirksamen Maschinen wurden auch außer den angegebenen Schichten abwechselnde von Braunstein und Sand gefunden, indem der Braunstein zwar stark antiseptisch wirkt, aber wegen leicht möglicher und schwer zu controlirender Verunreinigung mit nachtheiligen Substanzen nach PFAFF² verworfen werden muß. Uebrigens war die Einrichtung dieser Maschinen, welche auch an verschiedenen andern

1 Ann. de Chim. LI. 36. Scherer's allg. Journ. d. Chem. X. 411. Gehlen's neues allg. Journ. d. Chem. IV. 449. G. XIII. 103. XXI. 179.

2 Ueber einfache und wohlfeile Wasserreinigungsmaschinen. Kiel, 1813. S. 7.

Orten, namentlich durch Dr. PINÇON in Hamburg nachgemacht wurden, im Allgemeinen dieselbe, mit dem bedeutenden Unterschiede, daß in den meisten das Wasser von oben durch die verschiedenen läuternden Schichten dringt und unten abgezapft wird, bei einigen aber zur Erreichung eines größeren Effectes zuerst durch eine Reihe von Schichten herabsinkt, und dann durch eine zweite wieder hinauf getrieben wird, um über derselben abgelassen zu werden, oder umgekehrt.

Die gerügten Mängel der beschriebenen Filtrirapparate und ihr hoher Preis bewirkten, daß sie des anfänglich von ihnen gemachten Aufhebens ungeachtet bald wieder in Vergessenheit geriethen, und an den meisten Orten sind sie auch schlechthin überflüssig, weil man nicht leicht Grund hat, faules Wasser trinkbar zu machen, und sie daher hauptsächlich nur als physikalische Merkwürdigkeit einigen Werth haben konnten. In solchen Gegenden übrigens, wo die Natur des Bodens nur moriges und trübes Wasser darbietet, z. B. in marschlandigen und torfreichen Districten, ist die Reinigung des Wassers im Großen selbst aus Rücksichten auf die Gesundheit ein dringendes Bedürfnis. Eine Maschine, womit sich dieses einfach, bequem und ohne große Kosten erreichen läßt, hat C. H. PFAFF¹ ausführlich beschrieben, und sie ist um so mehr zu empfehlen, als sich ihre Brauchbarkeit durch die Erfahrung bestätigt hat. Der ganze, in beliebiger Größe nach dem jedesmaligen Bedürfnisse auszuführende Apparat besteht aus drei Stücken, welche am besten getrennt werden, sich aber leicht aus einander nehmen lassen, der Dauerhaftigkeit wegen von Eichenholz, zur Vermeidung eigener Fäulnis inwendig leicht verkohlt und zur größeren Haltbarkeit mit eisernen Bändern beschlagen seyn müssen. Es ist dann A ein gewöhnlicher Eimer, welcher oben mit einem Deckel zu größerer Reinlichkeit verschlossen seyn kann, unten aber auf einem Brete feststeht, wodurch zugleich das Eindringen des Staubes verhütet wird. In diesen wird das zu filtrierende Wasser gefüllt, und läuft in sehr feinen Strahlen oder selbst nur tropfenweise durch drei in der Mitte dicht neben einander im Boden befindliche Löcher, welche durch gemeine Badeschwämme verstopft sind. Unter diesem Gefäße befindet sich die eigentliche Filtrirtonne, eine gewöhnliche Tonne, wel-

Fig.
43.

1 a. a. O.

indels wenigstens 2 F. hoch seyn muß, damit der vom Wasser zu durchlaufende Weg nicht zu kurz werde. In dem oberen beweglichen Deckel befinden sich einige Löcher um die Mitte herum, damit das durch die Schwämme dringende Wasser durchfließen könne, dessen Quantität davon abhängt, ob die Schwämme im Boden des Gefäßes A, deren Zahl nach Befinden bei größerem Durchmesser des ganzen Apparates auch vermehrt werden kann, fester oder loser eingedrückt sind. Die Tonne hat zwei eiserne Handhaben, um sie bequem abheben zu können, und ruhet vermittelst eines Bretes auf dem unteren Gefäße C, welches zur Aufnahme des filtrirten Wassers bestimmt, zum Ablassen desselben mit einem Hahne versehen, und auf eine Unterlage gestellt ist, um das Wasser bequem in geeigneten Gefäßen auffangen zu können.

Bei den einzelnen Theilen ist dann noch Folgendes zu bemerken. Das wesentlichste Stück des ganzen Apparates ist die eigentliche Filtrirtonne. Sie enthält zu oberst eine Lage Sand, welcher vorher geschlemmt und gewaschen seyn muß, damit er keine lehmige und erdige Theile mehr enthält. Hierauf folgt eine starke Lage Kohlen von der Größe einer Wallnuß bis zu der einer Erbse, so daß die gröberen unten, die mittleren in der Mitte und die feinsten oben liegen. Sie können von jeder Art Holz seyn, jedoch sind die glänzenden und klingenden die besten, auch müssen sie vorher gewaschen werden, bis sie das Wasser nicht mehr schwärzen. Vor allen Dingen hat man dahin zu sehen, daß sie völlig ausgebrannt sind, und thut daher wohl, sie in bedeckten hessischen Tiegeln oder eisernen Gefäßen unmittelbar vor dem Gebrauche auszuglühen, bis sie durchaus keinen Rauch mehr geben¹. Unter den Kohlen liegt

¹ Da die Anlegung solcher Filtrirapparate in vielen sumpfigen Gegenden selbst auf dem platten Lande der Gesundheit wegen Bedürfnis werden kann, wo man indels keine erfahrene Techniker antrifft, so will ich hinzusetzen, daß das Ausglühen der Kohlen, als einzige bei der Construction vorkommende ungewöhnliche Arbeit doch sehr leicht bewerkstelligt wird, indem die hessischen Tiegel aus jeder Apotheke zu haben sind, und zum Behuf dieses Glühens beliebig oft gebraucht werden können, wenn man sie nicht durch große Unvorsichtigkeit zerbricht. Bedeckt werden sie mit einem gewöhnlichen irdenen, am besten an der inneren Seite nicht glasirten, Deckel, und man thut wohl, diesem in der Mitte ein Loch zu geben, beim Auf-

die dritte und unterste Lage, welche aus groben, vorher gleichfalls rein ausgewaschenem Kiessande besteht, dessen Druck gegen den unteren, im Boden der Filtrirtonne befindlichen, Badeschwamm durch einen umgestürzten Topf verhindert wird. Dafs endlich das durch die drei genannten Lagen filtrirte Wasser zuletzt durch den im Boden befindlichen Schwamm in das untere, zum Aufbewahrungsbehälter dienende Gefäß läuft, ist aus der Zeichnung für sich klar.

Sollen diese Maschinen die gewünschten Dienste leisten, so ist bei ihnen die höchste Reinlichkeit erforderlich. Daher müssen die Schwämme von ihrem Gebrauche ausgekocht und in warmen Wasser so lange ausgewaschen werden, bis das Wasser aus ihnen klar abläuft. Ferner müssen das obere und untere Gefäß alle 8 bis 14 Tage ausgewaschen und gereinigt werden, und dieses erstreckt sich auch auf die dann herauszunehmenden 3 Schwämme des oberen Eimers, auch ist es gut, wenn der ganze Apparat auswärts mit Oelfarbe angestrichen ist. Die eigentliche Filtrirtonne dagegen hat eine ungleich längere Dauer, indem diese sich der Erfahrung nach auf 2 bis 2 $\frac{1}{2}$ Jahre erstreckt, ohne dafs das filtrirte Wasser eine Abnahme der Wirkungsfähigkeit zeigt; jedoch muß die obere Sandlage alle drei Monate mit einem Löffel abgenommen und erneuert werden. Indem man aber viel reines Wasser zum Reinigen der Substanzen bei der Herstellung des Apparates gebraucht, das Bedürfnis desselben aber in den heißen Monaten am stärksten ist, weil dann das Wasser flacher Brunnen in solchen Gegenden leicht einen fauligen Geschmack annimmt, so kann die Herstellung oder Erneuerung des Apparates in solchen Jahreszeiten vorgenommen werden, in denen am meisten klares Wasser vorhanden ist. Andere Apparate, welche zur Reinigung des Wassers durch Filtrirung vorgeschlagen sind, von dem beschriebenen aber in keinem wesentlichen Stücke abweichen, übergehe ich der Kürze wegen mit Stillschweigen.

legen aber die zwischenbleibenden Fugen mit Lehm zu verstreichen, und diesen vorher trocknen zu lassen, um die etwa entstehenden Risse erst auszubessern. Endlich kann jeder Hafner einen inwendig nicht glasirten Topf für diesen Zweck verfertigen, oder man kann ihn von Pfeifenthon herstellen lassen. Das Ausglühen der Kohlen geschieht nach dem Verhältniß der Größe dieser Töpfe eine halbe bis eine ganze Stunde in gewöhnlichem Kohlen- oder Torf-Feuer.

Nur eine kurze Erwähnung verdient noch der tragbare Filtrirapparat, welchen CHENEVIX¹ vorgeschlagen hat, und bei welchem blofs die Kohle zum Reinigen des Wassers dient. Das Ganze besteht aus einem cylindrischen Gefäße von Weifsblech, unten mit einem sehr stumpfen Trichter. Oberhalb des letzteren wird ein kreisrundes Blech eingelegt, dessen halbe Fläche mit sehr feinen Löchern versehen ist. Ueber dieses Blech werden zerstoßene und gesiebte Kohlenstückchen von der Größe der Schiefspulverkörner gelegt, und mit einem ähnlichen Bleche bedeckt, bei welchem gleichfalls nur die eine Hälfte mit kleinen Löchern versehen ist, über welchem dann ein Raum zum Eingießen des zu filtrirenden Wassers bleibt. Die durchlöcher-ten Hälften beider Bleche stehen einander in der Art gegenüber, daß eine jede der undurchlöcher-ten des anderen parallel liegt, wodurch also das Wasser genöthigt wird, durch die Löcher des oberen Bleches zu fließen, dann die Schicht des Kohlenpulvers in schräger Richtung zu durchdringen, und aus der unteren Oeffnung des Trichters abzulaufen. Ein diesem ähnlicher, von PAUL in Genf vorgeschlagener Filtrirapparat² benutzt bloßen Sand zum Reinigen des Wassers. Er besteht aus lauter ähnlichen in einander gesetzten Cylindern, deren mittelster mit Sand erfüllt ist und zur Aufnahme und ersten Durchseihung des Wassers dient. Das durchgelaufene Wasser steigt in dem Sande des zweiten Cylinders in die Höhe, gelangt an das obere Ende des dritten Bechers, um in dem Sande desselben abermals herabzusinken, und so fort nach der Zahl der in einander stehenden Cylinder, worauf es zuletzt unten abläuft. Ist die Zahl dieser Cylinder etwas groß, so wird der Apparat hierdurch stets weniger tragbar, dessen Construction übrigens ganz einfach ist, auch könnte man leicht einige Lagen Sand mit Kohlen vertauschen, um seine Kraft dadurch zu verstärken. Am zweckmäfsigsten für den ökonomischen Gebrauch bleibt indess allezeit der von PFAFF angegebene, und deswegen auch ausführlicher beschriebene Apparat. M.

1 Bibl. Brit. XXXVI. 199.

2 Annales des Arts et Manufactures XLV. 326.

Finsternisse.

Verfinsterungen der Himmelskörper,
*Eclipses*¹ s. *Defectus Solis vel Lunae*; *Éclipses*;
Eclipses.

Der Mond sowohl als die Sonne werden zuweilen während sie am heiteren Himmel stehen, ganz oder zum Theil unsichtbar oder verfinstert; diese Verfinsterungen heißen *total*, wenn der Himmelskörper nach seiner ganzen GröÙe unsern Augen verdeckt oder beschattet ist, *partial* dagegen, wenn noch ein Theil des Himmelskörpers in seinem gewöhnlichen Lichte sichtbar bleibt. Auch die Monde anderer Planeten, namentlich die Jupiters-Monde, werden zuweilen auf ähnliche Weise verfinstert.

Mondfinsternisse.

Wenn der Mond ganz erleuchtet erscheint, beim Vollmonde, so sieht man ihn zuweilen sein Licht nach und nach so verlieren, als ob eine dunkle Scheibe von Osten gegen Westen vor ihn rückte, ihn zuerst immer mehr verdeckte und dann, bei ihm vorbeirückend, ihn wieder verliesse. Wir sagen dann, es sey eine *Mondfinsternis*, *Eclipsis lunae*; *Éclipse de la Lune*; *Eclipse of the Moon*. Da die Mondfinsternisse nur dann statt finden, wenn es Vollmond ist, und überdies nur zu der Zeit, da der Mond sehr genau der Sonne gegenüber steht, so können wir über die Ursache dieser Erscheinung nicht lange zweifelhaft seyn. Die Erde, als eine dunkle Kugel, muß ohne Zweifel nach der von der Sonne abwärts gekehrten Seite hin einen Schatten werfen, der, weil die Erde kleiner als die Sonne ist, kegelförmig seyn, doch aber sich bis zu einer größern Entfernung hin, als wo der Mond sich befindet, erstrecken muß. Geht der Mond durch diesen Schatten, so wird, so lange er noch nicht ganz in den Schatten getreten ist, der kreisförmige Umriss des Schattens sich auf der Oberfläche des Mondes zeigen oder es wird sich die Erscheinung so darstellen, als ob eine dunkle Scheibe den Mond zum Theil bedeckte; je mehr der Mond gegen den Mittelpunct des Schattens zurückt, desto mehr wird sich sein noch erleuchteter Theil verkleinern, und

1 Von ἐκλείνω, deficio.

dieser wird endlich ganz verschwinden, nach einiger Zeit aber, wenn der Mond den Raum des Erdschattens durchlaufen hat, zeigt er sich an der andern Seite desselben wieder austretend, und erscheint endlich wieder in vollem Lichte. Da der Mond sich schneller als die Sonne scheinbar unter den Sternen von Westen nach Osten fortbewegt, so erreicht seine Ostseite zuerst den Erdschatten und die dunkle Scheibe scheint daher von Osten her vor ihm vorbei zu rücken.

Wenn der Mond bei seiner Bewegung um die Erde genau in der Ekliptik bliebe, so würde er bei jedem Vollmonde der Sonne gerade gegenüber stehen, und der Schatten der Erde würde bei jedem Vollmonde auf ihn fallen; aber die Mondbahn ist gegen die Ekliptik geneigt und durchschneidet diese nur in zwei einander gerade gegenüber liegenden Punkten, den *Knoten der Mondbahn*; aus diesem Grunde geht der Mond beim Vollmonde weit öfter neben dem Erdschatten vorbei, als er von demselben erreicht wird, und die meisten Vollmonde zeigen sich uns ohne Verfinsternung. Nur dann, wenn der Vollmond nahe genug mit dem Eintritte in den Knoten zusammen trifft, oder wenn der Mond beim Vollmonde nur sehr wenig von der Ekliptik entfernt steht, wird er verfinstert, und die Bestimmung derjenigen Vollmonde, die eine Mondfinsterniß darbieten, hängt daher davon ab, daß man wisse, wo die Mondbahn die Ekliptik schneidet. Wenn diese Knoten, wie es im Jahre 1828 der Fall ist, im Stier und im Scorpion liegen, das heißt, in den Punkten der Ekliptik, wo uns die Sonne gegen Ende des April's und des October's erscheint, so können auch nur die Vollmonde die ungefähr in diese Zeiten fallen, Mondfinsternisse darbieten. Blieben die Mondknoten immerfort unveränderlich in denselben Punkten der Ekliptik, so würden die Mondfinsternisse stets nur in gewissen Jahreszeiten sich ereignen; da aber die Durchschnittspuncte der Mondbahn mit der Ekliptik in 18 Jahren beinahe durch den ganzen Umfang der Ekliptik fortrücken, so treffen in verschiedenen Jahren die Mondfinsternisse in verschiedene Jahreszeiten und nach bestimmten Perioden kommen sie wieder in dieselben Jahreszeiten.

Um für einen bestimmten Vollmond zu finden, ob der Mond verfinstert werde, muß man den scheinbaren Durchmesser des Erdschattens in der Gegend, wo der Mond durch denselben, oder vielleicht an demselben vorbei geht, berechnen.

Der Mittelpunkt des Erdschattens liegt allemal in der Ekliptik und wenn zu der Zeit, da der Mittelpunkt des Mondes sich dem Mittelpunkte des Erdschattens am nächsten befindet, der Abstand beider von einander mehr, als die Summe der scheinbaren Halbmesser beider beträgt, so geht der Mond unverfinstert an dem Erdschatten vorbei. Um zuerst den wahren Durchmesser ^{Fig.} des Erdschattens tr an dem Orte, wo der Mond durchgeht, zu _{45.} finden, hat man Folgendes zu berücksichtigen.

Wenn SCH die Linie durch der Erde und der Sonne Mittelpunkt ist, BTH beide Körper berührt, so sind die auf BH senkrechten Halbmesser beider Körper mit einander parallel und es ist

$$SH : CH = SB : CT$$

$$\text{oder } CH = \frac{CS \cdot CT}{SB - CT}$$

LM sey die Bahn des Mondes, mr der Halbmesser des Erdschattens in der Gegend, wo der Mond sich befindet, so ist

$$mr : CT = Hm : CH,$$

$$\text{oder } mr : CT = CH - C_m : CH,$$

$$\text{das ist } mr = CT \left(1 - \frac{C_m}{CH}\right)$$

$$= CT - \frac{C_m \cdot (SB - CT)}{CS}$$

Vom Mittelpunkte der Erde aus gesehen, erscheint mr unter dem Winkel mCr , den man $= \frac{mr}{C_m}$ setzen kann, weil bei so kleinen Winkeln, der Bogen mit der Tangente verwechselt werden kann. Der scheinbare Halbmesser des Erdschattens ist also $= \frac{CT}{C_m} - \frac{SB}{CS} + \frac{CT}{CS}$, und hier ist $\frac{CT}{C_m}$ der scheinbare Halbmesser der Erde vom Monde aus gesehen, $\frac{SB}{CS}$ der scheinbare Halbmesser der Sonne von der Erde aus gesehen, und $\frac{CT}{CS}$ der scheinbare Halbmesser der Erde von der Sonne aus gesehen. Der scheinbare Halbmesser der Erde vom Monde aus gesehen stimmt mit der Parallaxe des Mondes, der scheinbare Halbmesser der Erde von der Sonne aus gesehen stimmt mit der Parallaxe der Sonne überein, und es ist daher der scheinbare

Halbmesser des Erdschattens = der Summe der Parallaxe von Sonne und Mond vermindert um den scheinbaren Halbmesser der Sonne. Hieraus kann man die Grenze bestimmen, wie groß höchstens und wenigstens der Halbmesser des Erdschattens erscheint; denn da die größte Mondparallaxe niemals $62'$ erreicht, die Sonnenparallaxe 9 Sec. ist und der kleinste scheinbare Durchmesser der Sonne (zur Zeit ihrer größten Entfernung) $15' 45''$ beträgt, so ist der scheinbare Halbmesser des Erdschattens nie über $62' + 9'' - 15' 45'' = 46' 24''$. also nie über $46\frac{1}{2}$ Min., und wenn dann des Mondes scheinbarer Halbmesser = $16\frac{1}{4}$ Min. ist, so findet eine Verfinsternung erst statt, wenn der Mittelpunkt des Mondes $63\frac{1}{4}$ Min. vom Mittelpunkte des Erdschattens entfernt ist; $63\frac{1}{4}$ Min. Abstand des Mondes von der Ekliptik zur Zeit des Vollmondes ist die Grenze, wobei die Mondfinsternisse statt zu finden aufhören. Aber so groß erscheint nicht immer der Erdschatten und der Mond, sondern wenn der Mond entfernter von der Erde ist, so muß er weniger von der Ekliptik entfernt seyn, wenn er noch verfinstert werden soll, ja selbst wegen der ungleichen scheinbaren Größe der Sonne, die bei der geringsten Entfernung von der Erde $16' 18''$ Halbmesser hat, vermindert sich diese Grenze ein wenig für die Zeit der Sonnennähe.

Jene Zahl von ungefähr 64 Min., über welche hinaus die Breite des Mondes zur Zeit des Vollmondes, wenn noch eine Mondfinsternis statt finden soll, nicht gehen darf, zeigt, wie weit der Mond vom Knoten entfernt, noch zum Theil verfinstert werden kann, nämlich wenn der Abstand vom Knoten weniger als $64'$. Cotg. 5° oder weniger $12\frac{1}{4}$ Grad beträgt. Daher kann es sich ereignen, daß um die Zeit, da die Sonne sich im Knoten der Mondbahn befindet, keine Mondfinsternis eintritt, nämlich dann wenn die Sonne ungefähr mitten zwischen zwei Vollmonden den Knoten der Mondbahn erreicht, also gegen die Zeit des nächsten Vollmondes schon um 15 Grade vom Knoten entfernt ist. Dieses wird sich noch leichter ereignen, wenn der Vollmond mit der größten Entfernung des Mondes von der Erde zusammentrifft, indem dann die Summe der scheinbaren Halbmesser des Erdschattens und des Mondes bis auf $53'$ herabgehen kann, und der Mond nicht über 10 Grade vom Knoten seyn darf, wenn eine Mondfinsternis eintreten soll.

Wenn der Mond im Vollmonde nicht über $9\frac{1}{4}$ Grad vom

Knoten entfernt ist, so erfolgt gewifs eine Mondfinsternifs und diese ist nur partiell, wenn der kleinste Abstand des Mondsmittelpunctes vom Mittelpuncte des Erdschattens mehr als der Unterschied der scheinbaren Halbmesser des Mondes und des Erdschattens beträgt; daher treten totale Mondfinsternisse nur ein, wenn die Breite des Mondes beim Vollmonde weniger als 30 Min. beträgt, oder der Mond nicht über $5\frac{1}{2}$ Grad vom Knoten entfernt ist.

Wenn der Mond gerade durch die Mitte des Erdschattens geht, so ist er allemal eine ziemlich lange Zeit ganz verfinstert, und diese totale Verfinsterung kann gegen 2 Stunden dauern; gewöhnlich ist sie bedeutend kürzer, weil selten der Vollmond so sehr nahe mit dem Eintritte in den Knoten zusammentrifft.

Die Berechnung einer Mondfinsternifs beruht, wenn sie ohne Hülfe schon berechneter Ephemeriden angestellt werden soll, darauf, dafs man aus den Tafeln die wahren Orte des Mondes und der Sonne berechne, daraus die Zeit des wahren Vollmonds und das relative Fortrücken des Mondes in Beziehung auf den Mittelpunct des Erdschattens bestimme. Hieraus ergibt sich dann der Augenblick, wo beide Mittelpuncte so weit von einander abstehen, als die Summe der scheinbaren Halbmesser des Erdschattens und des Mondes; und dieses ist der Augenblick des *Eintritts* in den Erdschatten vor dem Zeitpuncte der genauen Opposition und der Augenblick des *Austritts* nach dem Zeitpuncte der genauen Opposition oder des wahren Vollmonds. Eben so erhält man aus jenen Bestimmungen den Zeitpunct, da der Abstand beider Mittelpuncte von einander gleich der Differenz jener Halbmesser ist, und damit den Anfang und das Ende der totalen Verfinsterung. Wenn man schon berechnete Ephemeriden vor sich hat, so kann man, um die Umstände der Finsternisse zu übersehen, sich einer Zeichnung Fig. bedienen. Es stelle AB die Ekliptik vor, C den Ort, den der 46. Mittelpunct des Erdschattens einnimmt, CD den aus der Parallaxe des Mondes und der Sonne nebst dem Halbmesser der Sonne berechneten Halbmesser des Erdschattens. Man nehme nun aus den Ephemeriden den Abstand des Mondes von der Opposition für jede Viertelstunde kurz vor und kurz nach der Opposition, trage diesen, so wie CE, CF, nach eben dem Maßstabe, nach welchem der Erdschatten gezeichnet ist, auf, und nehme EG, FH der jedesmal zugehörigen Breite des Mondes gleich, den Halb-

messer des Mondes aber zeichne man nach eben dem Mafsstabe, wie die übrigen Gröfsen, so zeigt die Figur die Erscheinung der Finsternis zu den verschiedenen Zeiten, wo sich der Mittelpunct des Mondes in G, H u. s. w. befindet. Wenn die Zeichnung grofs und genau genug ausgeführt ist, so kann man den Zeitpunkt des Eintritts in den Schatten, des Austritts aus demselben, wenn des Mondes Mittelpunct in L ist, den Anfang der totalen Verfinsternung, wo der Mittelpunct des Mondes in G ist, und die innere Berührung in N statt findet u. s. w. daraus abnehmen.

Die bisherigen Bestimmungen betreffen nur den eigentlichen *vollen Schatten* der Erde, aber um diesen befindet sich noch ein *Halbschatten*. Es ist nämlich leicht zu übersehen, Fig. 45. dafs in den kegelförmigen Raum HET, dem geradelinigen Fortgange der Lichtstrahlen gemäß, gar kein Sonnenlicht gelangen kann, dafs aber auch zwischen m und P keine volle Erleuchtung statt findet, indem die Erde hier noch einen Theil der Sonne verdeckt; dieser Halbschatten wird durch die gerade Linie ATP begrenzt, welche Sonne und Erde berührt. Wegen dieses Halbschattens erscheint der Erdschatten auf dem Monde nie ganz scharf begrenzt, sondern den dunkelsten Schatten umgiebt ein verwaschener Rand, welcher immer matter verdunkelt ist, je weiter man sich von dem eigentlichen Schatten entfernt. Wegen dieses Halbschattens ist es nicht gut möglich, den Augenblick, wann der Erdschatten einen bestimmten Fleck im Monde erreicht, strenge anzugeben. Wenn wir uns einen Beobachter auf dem Monde denken, so ist diesem die Sonne gänzlich verfinstert, oder er sieht eine totale Sonnenfinsternis, wenn er sich im vollen Schatten der Erde befindet; ist er dagegen nur im Halbschatten, so erscheint ihm die Erde so vor der Sonne, dafs sie einen Theil derselben verdeckt.

Da die Mondfinsternis in einer wirklichen Beraubung des Lichts besteht, so sehen alle die Bewohner der Erde, denen der Mond sichtbar ist, den Anfang, das Ende und die einzelnen bestimmten Umstände der Verfinsternung genau zu derselben Zeit. Aus diesem Grunde kann die Beobachtung einer Mondfinsternis an zwei Orten zu Bestimmung des Längenunterschiedes dieser Orte dienen, so fern sie übereinstimmende Zeitmomente angiebt, nach welchen man die Mittagsunterschiede oder die Ungleichheit der nach dem wahren Mittage des einen und

des andern Ortes gestellten Uhren finden kann. Die Unsicherheit, welche der Halbschatten in die Bestimmung des Eintrittes der einzelnen Flecken in den Schatten bringt, verursacht aber, daß diese Längenbestimmungen nicht bis auf kleine Zeittheile sicher seyn können.

Die *Größe* der Mondfinsternisse pflegt man nach Zollen und Sechzigsteln dieser Zolle, welche man Minuten nennt, anzugeben. Man theilt nämlich den Durchmesser des Mondes in 12 Theile, die hier Zolle genannt werden, und wenn bei der größten Verfinsternung der breiteste Theil des unverfinsterten Mondes nur 1 Zoll beträgt, so ist es eine Finsterniß von 11 Zollen. Wenn bei der größten Verfinsternung der Rand des Erdschattens gerade auf den Mondrand fiel, so daß der Mond völlig verdunkelt wäre, so hieß die Finsterniß 12 zöllig; dagegen wenn der Mond so tief in den Erdschatten eindringt, daß der scheinbare Erdschatten da, wo er dem Mondrande am nächsten ist, noch $\frac{1}{12}$ oder $\frac{2}{12}$ des Monddurchmessers über den Rand hinausreicht, so heißt die Finsterniß 13 Zoll oder 14 Zoll groß; und hieraus erklärt es sich, wie es Mondfinsternisse von 20 oder 21 Zoll geben kann.

Die Erscheinung, welche der Mond uns bei Mondfinsternissen darbietet, ist verschieden, indem der Mond bei der totalen Verfinsternung zuweilen ganz unsichtbar wird, zuweilen aber noch mit einem kupferfarbenen Lichte erscheint. Die Mondfinsternisse, wo der Mond ganz unsichtbar wird, sind selten; KEPLER giebt die vom 9. December 1601 und 15. Jun. 1620 als solche an¹, und HEVEL versichert², daß man am 25. April 1642 den Mond bei der gänzlichen Verfinsternung selbst durch Fernröhre nicht habe auffinden können, obgleich der Himmel vollkommen heiter war. HEVEL schließt hieraus mit Recht, daß der Mond kein eigenes Licht besitze. In unsern Tagen verschwand der Mond gänzlich am 10. Juni 1816³, und erst kurz vor dem Ende der totalen Verfinsternung bemerkte man einen neblichen Lichtschimmer, welcher zunahm, bis der helle Mondrand hervortrat. Das rothe Licht, welches der Mond oft noch bei der totalen Verfinsternung

¹ Epist. astron. Copern. Lib. V.

² Selenographia p. 117.

³ Astron. Jahrb. für 1819. S. 263.
IV. Bd.

zeigt, ist ohne Zweifel eine Wirkung der Strahlenbrechung in der Atmosphäre der Erde, welche nämlich die Lichtstrahlen so krümmt, daß sie von allen Seiten her in den Raum hinein gelangen, welcher bei geradem Fortgange der Lichtstrahlen gar kein Licht empfangen würde. Man bemerkt daher auch, daß dieses Licht da am schwächsten ist, wo der Mittelpunkt des Erdschattens liegt, oder daß die Seite des Mondes am dunkelsten erscheint, welche dem Mittelpunkte des Schattens am nächsten liegt. Die Verschiedenheit, welche sich in diesem, durch Refraction auf den Mond fallenden Lichte zeigt, muß wohl in dem verschiedenen Zustande der Erd-Atmosphäre ihren Grund haben, und die Meinung, daß die Mondfinsternisse zur Zeit der Nachtgleichen am meisten Licht auf dem verfinsterten Monde zeigen, weil an den Polen alsdann, um die Zeit des Sonnen-Aufgangs und Untergangs, vorzüglich starke Strahlenbrechung statt findet, würde viel für sich haben, wenn nicht HEVEL's Beobachtung ein Beispiel vom Gegentheile gäbe.

Durch die Strahlenbrechung ist es auch möglich, den verfinsterten Mond schon vor dem Augenblicke des scheinbaren Sonnen-Unterganges über dem Horizonte zu sehen. Wenn der Mond, vom Mittelpunkte der Erde gesehen, ganz genau der Sonne gegenüber stände, so würde er, ohne Mitwirkung der Refraction, etwas später aufgehen, als die Sonne untergeht, weil wir ihn der Parallaxe wegen etwas später aufgehen sehen; diesen Unterschied hebt die Refraction gänzlich auf, und es kann daher der verfinsterte Mond aufgehen, ja selbst der Mittelpunkt des Erdschattens kann über dem Horizonte erscheinen, wenn die Sonne noch nicht untergegangen ist.

Sonnenfinsternisse.

Eclipses s. Defectus Solis; Éclipses du Soleil; Solar-Eclipses.

Zur Zeit des Neumondes sehen wir zuweilen die Sonne durch eine von Westen nach Osten scheinbar vor ihr vorbeirückende Scheibe verfinstert werden. Diese Verfinsternung zeigt sich nicht an allen Orten gleich und kann also nicht in einem wirklichen Dunkelwerden der Sonne bestehen, sondern die Ungleichheit der Erscheinung des Mondes ist gerade so, wie sie seyn würde, wenn ein runder, undurchsichtiger, uns viel nä-

her als die Sonne stehender Körper, vor sie tretend, uns ihr Licht entzöge. Da zur Zeit des Neumondes der Mond neben der Sonne vorbei geht, und da überdies die Sonnenfinsternisse sich nur dann ereignen, wenn der Neumond nahe mit dem Knoten oder mit dem Durchgange des Mondes durch die Ekliptik zusammen trifft, so ist es nicht schwer zu errathen, daß der Mond es ist, der uns den Anblick der Sonne entzieht.

Wir unterscheiden *partiale* oder theilweise Verfinsterungen der Sonne von den *totalen* oder gänzlichen Verfinsterungen, und ferner *centrale* Verfinsterungen, wo der Mittelpunkt des Mondes vor dem Mittelpunkte der Sonne vorbei geht, von denen, die nicht central sind. Da die Sonnenfinsternisse nicht an allen Orten, wo sie sichtbar ist, gleich erscheint, so pflegt man die Orte vorzüglich anzugeben, denen sie central erscheint, und nur dann, wenn der Mittelpunkt des Mondschattens nicht auf die Erde trifft, giebt es keinen Ort, wo auf der Erde die Finsternis central wäre. Da wo die Finsternis genau oder doch beinahe central ist, erscheint sie entweder *total* oder *ringförmig*; das erstere dann, wenn der Mond uns nahe genug ist, um die Sonne ganz zu verdecken; das andere, wenn er zu entfernt ist, und daher von kleinern Durchmesser als die Sonne erscheint. In seltenen Fällen kann dieselbe Finsternis an einem Orte total, am andern nur ringförmig erscheinen. Indem nämlich der Mittelpunkt des Mondschattens über der Erde fortgeht, trifft er nach und nach auf Orte, die ungleich entfernt vom Monde sind; diejenigen Beobachter also, welche bei der centralen Verfinsterung den Mond in oder nahe an ihrem Zenith erblicken, sehen ihn erheblich größer, als andere, denen er kurz vorher oder nachher die aufgehende oder untergehende Sonne verfinstert; daher kann, wenn der scheinbare Durchmesser des Mondes, vom Mittelpunkte der Erde aus gesehen, um etwas weniger kleiner ist als der scheinbare Durchmesser der Sonne, die Verfinsterung total seyn an den Orten, wo die Sonne nahe am Zenith central verfinstert erscheint, ringförmig da, wo man die Sonne central verfinstert aufgehen oder untergehen sieht¹.

An einem bestimmten Orte kann ferner die totale Verfinste-

¹ v. ZACH führt ein Beispiel einer solchen Finsternis an. Correspond. astron. III. 288, wo noch mehr historische Notizen über Sonnenfinsternisse vorkommen.

zung *ohne Dauer* oder *mit Dauer* seyn, je nachdem der scheinbare Durchmesser des Mondes nur gerade zureicht, die Sonne zu verdecken, oder größer ist. Die größte Dauer der totalen Verfinsternung ist 5 Minuten.

Die Berechnung der Sonnenfinsternisse wird durch die Parallaxe des Mondes, vermöge welcher derselbe an jedem Orte eine andere Lage gegen die Sonne hat, sehr erschwert. Wollte man die Rechnung bloß für den Mittelpunct der Erde führen, so könnte dieses ziemlich eben so wie bei den Mondfinsternissen geschehen, aber dieses reicht nicht zu, da auf der Oberfläche der Erde Sonnenfinsternisse statt finden können, wenn auch der Schatten des Mondes den Mittelpunct der Erde gar nicht treffen könnte. Um zuerst zu bestimmen, wie weit der Mond, aus dem Mittelpuncte der Erde gesehen, noch von der Sonne entfernt seyn kann, wenn er schon für einige Orte auf der Erde die Sonne zu verfinstern anfängt, sey CS die vom Mittelpuncte C der Erde nach dem Mittelpuncte der Sonne gezogene Linie, Ar sey mit ihr parallel und As mache einen der Sonnenparallaxe gleichen Winkel $= 8\frac{3}{4}'' = p$ mit ihr, so sieht der Beobachter in A den Mittelpunct der Sonne nach der Richtung As ; sAt sey dem scheinbaren Halbmesser der Sonne, tAv dem scheinbaren Halbmesser des Mondes gleich, und diese Halbmesser will ich q und Q nennen, so ist, wenn der Mond sich in tv befindet, SCv der geocentrische Abstand des Mondes von der Sonne. Offenbar aber ist $Sr = CA$ und wegen der bedeutenden Entfernung des Mondes $SCr = CvA = P =$ der Parallaxe des Mondes, und $SCs = P - p$; $rCv = rAv = q + Q$, also der geocentrische Abstand des Mond-Mittelpunctes vom Mittelpuncte der Sonne $= P - p + Q + q$. Eine Sonnenfinsterniß fängt also auf der Erde an, wenn der von Westen her gegen die Sonne zu rückende Mond den Abstand erreicht hat, welcher aus der Sonne der scheinbaren Halbmesser und dem Unterschiede der Parallaxen zusammen gesetzt ist; hat der Mond östlich von der Sonne eben den Abstand wieder erreicht, so endiget sich für die Bewohner der Erde, welche die Sonnenfinsterniß zuletzt sahen, diese völlig; erreicht der Mond gar nicht diese Nähe oder ist seine Breite zur Zeit des Neumondes größer, so sieht kein Bewohner der Erde die Sonne verfinstert, der Mondschatten geht an der Erde vorbei.

Die eben angegebene Bestimmung giebt die Grenzen der

Fig.
47.

Sonnenfinsternisse überhaupt an. Will man aber wissen, wie nahe bei der Sonne der Mond, geocentrisch beobachtet, stehen muß, damit die Finsterniß auf der Erde irgendwo central sey, so erhellet, daß dann der von A aus gesehene Mittelpunkt des Mondes mit dem Mittelpuncte der Sonne zusammen fallen oder nach der Richtung A s erscheinen muß, so daß der geocentrische Abstand beider Mittelpuncte = $SCs = P - p$ dem Unterschiede der Parallaxe gleich wird. Hieraus läßt sich also die Dauer der Central - Verfinsternung für die ganze Erde angeben, und diese Verfinsternung ist zugleich total, wenn der scheinbare Halbmesser = Q des Mondes größer als der scheinbare Halbmesser der Sonne = q ist. Um so viel, als der Unterschied $Q - q$ beträgt, kann der geocentrische Abstand beider Himmelskörper größer seyn, ehe die totale Verfinsternung aufhört, und $P - p + Q - q$ ist der geocentrische Abstand für Anfang und Ende der totalen Finsterniß. Eben so ist $P - p + q - Q$ der geocentrische Abstand für Anfang und Ende der ringförmigen Verfinsternung, wenn die Sonne größer als der Mond erscheint.

Da $P = 62'$ der größte Werth ist, welchen die Parallaxe des Mondes je erreicht, und $Q = 16' 55''$, $q = 16' 18''$ die größten Werthe der Halbmesser beider Himmelskörper sind, p aber nahe an $9''$ ist, so giebt $62' - 0' 9'' + 16' 55'' + 16' 18''$ die Grenze = $1^\circ 35'$ der Breite an, welche der Mond im Neumond haben muß, wenn gewiß keine Sonnenfinsterniß mehr eintreten soll. Aber da P , Q , q klein seyn können, nämlich = $53'$; = $15' 34''$; = $15' 45''$, so ist $53' - 0' 9'' + 15' 34'' + 15' 45''$, oder $1^\circ 24' 10''$ die kleinste Grenze, wobei der Mond noch, ohne eine Finsterniß zu veranlassen, bei der Sonne vorbei gehen kann, und so wie bei einer Breite größer als $1^\circ 35' 4''$ gewiß keine Sonnenfinsterniß statt findet, so muß dagegen nothwendig eine eintreten, wenn seine Breite beim Neumonde kleiner als $1^\circ 24' 10''$ ist; und jene Grenze findet statt, wenn er in seiner Bahn noch beinahe $18\frac{1}{2}$ Grad, diese Grenze, wenn er nicht völlig $15\frac{1}{2}$ Grad vom Knoten entfernt ist. Die Grenzen der Sonnenfinsternisse sind als sehr viel ausgedehnter als die der Mondfinsternisse, und da der Ort der Sonne zwischen zwei Neumonden sich nur um 29 Grade ändert, so tritt bei jedem Zusammentreffen der Sonne mit dem Knoten der Mondbahn wenigstens *eine* Sonnenfinsterniß ein; es kann aber auch eine vor und eine nach dem Eintreffen in dem Knoten sich ereignen, wenn

die Sonne ziemlich mitten zwischen zwei Neumonden den Knoten erreicht. Wenn der Neumond sehr nahe mit dem Eintreten der Sonne in den Knoten der Mondbahn zusammen trifft, so ist die Finsterniß auf der Erde irgendwo central; aber dann ist sehr oft beim vorbergehenden und folgenden Vollmonde die Entfernung vom Knoten schon zu groß, um eine Mondfinsterniß zu gestatten. Ist dagegen der Vollmond nahe beim Knoten, so ist eine totale Mondfinsterniß, und bei dem vorbergehenden so wie bei dem folgenden Neumonde treten kleine Sonnenfinsternisse ein. Hiernach läßt sich die Verschiedenheit der Anzahl und Größe der Sonnen- und Mondfinsternisse in verschiedenen Jahren ungefähr beurtheilen.

Auch die Perioden der Wiederkehr ähnlicher Finsternisse lassen sich nun übersehen. Wenn in einem bestimmten Jahre eine Sonnenfinsterniß genau oder doch nahe mit dem Knoten zusammen getroffen ist, so trifft im nächsten Jahre der in demselben Monate sich ereignende Neumond 11 Tage früher, also bei einem Stande von der Sonne, der etwa 11° hinter dem vorigen zurückliegt; der Knoten der Mondbahn ist aber 19 Grade zurückgegangen, und der Mond ist also bei dem Neumonde eben des Monates etwa 8 Grade vom Knoten entfernt, daher der vorigen großen Sonnenfinsterniß nun nur eine kleinere folgt. Im folgenden Jahre ist der Abstand 16 Grade, und es erfolgt allenfalls bei dem so bestimmten Neumonde noch eine kleine, aber gewiß keine erheblich große Sonnenfinsterniß. Wendet man eben die Betrachtung auf Mondfinsternisse an, so würde im zweiten Jahr nach einer sehr großen Mondfinsterniß in eben der Jahreszeit der Mond gar nicht verfinstert. Zum Beispiel am 21. Mai 1826 war eine totale Mondfinsterniß, (bei welcher jedoch der Mond nicht so ungemein nahe bei dem Knoten war) am 11. Mai 1827 eine partiale Mondfinsterniß; aber im April oder Mai 1828 wird keine Mondfinsterniß seyn; dagegen sind 1828 zwei Sonnenfinsternisse in den mittleren Gegenden der Erde central, statt daß im Jahre 1827 die Sonnenfinsternisse um einen der Pole der Erde central erschienen, und 1826 die großen Mondfinsternisse nur kleine Sonnenfinsternisse neben sich hatten.

Der Knoten der Mondbahn rückt so rückwärts, daß, wenn er einmal mit dem Neumonde zusammen traf, er nach 18 Jahren und 10 bis 11 Tagen wieder mit ihm zusammen trifft. Der Kno-

ten bewegt sich in 365 Tagen durch $19^{\circ} 19',75$; also in 18 gemeinen Jahren durch $347^{\circ} 47'$; unter 18 gemeinen Jahren sind aber 4 oder 5 Schaltjahre, und 18 wirkliche Jahre bestehen daher aus 4 oder 5 Tagen mehr als den eben berechneten. Lege ich aufser diesen im ersten Falle noch 11 Tage zu den ohne Schalttag berechneten Jahren, so ist für diese 15 Tage der Rückgang der Knoten noch 48 Min., also in 18 Jahren 11 Tagen $348^{\circ} 35'$. Der Knoten ist also noch 11 Grade von dem Orte, den er zu Anfang jener Zeit einnahm, und da die Sonne um so viel, als 11 Tagen zukommt, weiter vorgerückt ist, als zu Anfang jener Zeit, das ist 11 Grade weiter, so steht sie nach 18 Jahren 11 Tagen wieder im Knoten. Aber auch der Mond ist wieder im Neumonde, indem 223 Mondmonate $6585\frac{1}{2}$ Tage, das ist 18 gemeine Jahre und $15\frac{1}{2}$ Tage oder 18 richtige Jahre und $10\frac{1}{2}$ oder $11\frac{1}{2}$ Tage ausmachen; es ist also wieder eine Sonnenfinsterniß wie vor 18 Jahren 11 Tagen und zwar fast eben so nahe beim Knoten, also ziemlich eben so groß. Da indels das Zusammentreffen des Neumondes mit dem Knoten nicht ganz genau ist, so findet eine kleine Aenderung der Finsternisse statt, nach 36 Jahren 21 Tagen würde diese noch mehr betragen und nach oftmaligem Verlauf der Periode die Uebereinstimmung nicht mehr statt finden. Auf diese Art stimmte die in den nördlichen Gegenden ringförmige Sonnenfinsterniß am 28. Aug. 1802 mit der gleichfalls in der nördlichen Halbkugel ringförmigen Sonnenfinsterniß am 7. Sept. 1820 überein. Diese Periode von 223 Mondmonaten ist zwar in neuern Zeiten die *Halley'sche Periode* genannt worden, sie ist aber dieselbe, welche nach PTOLEMAEUS schon den alten chaldäischen Mathematikern bekannt war, und die sie *Saros* genannt haben¹. Aehnliche Perioden der Wiederkehr der Finsternisse sind die von 716, 3087, 6890, 9977 Mondmonaten.

Alles bisher Angeführte betrifft nur die Bestimmung, ob und wie auf der Erde überhaupt eine Sonnenfinsterniß erscheinen wird: aber man verlangt nun auch zu wissen, an welchen Orten sie central, total oder ringförmig oder sonst von bestimmter Größe erscheinen, und wie sie sich an einem gegebenen Orte zeigen wird. Diese Bestimmungen müssen von etwas sorgfälti-

¹ Ptol. Almagest Lib. 4, Plinius hist. nat. II. 10. und Ideler's Chronologie I. 209.

Fig. 48. gern Berechnungen für den Mittelpunkt der Erde ausgehen. Man zeichne um den Mittelpunkt C einen Kreis AEED, dessen Halbmesser nach einem willkürlichen Maßstabe so viele Theile, als $P - p + Q + q$ Secunden enthält (wo $P - p$ der Unterschied der Parallaxen von Sonne und Mond, Q der Mondhalbmesser, q der Sonnenhalbmesser ist); dabei müssen nun diese Größen so genommen werden, wie sie der Zeit des Neumondes entsprechen, für welchen man die Rechnung führen will, und die Werthe kann man aus den Ephemeriden nehmen. Eben so zeichne man um denselben Mittelpunkt Kreise von den Halbmessern $= P - p + Q + \frac{1}{2}q$; $= P - p + Q$; $= P - p + Q - \frac{1}{2}q$; endlich $= P - p$. Der erste und größte dieser Kreise umschließt, wenn C den aus der Erde Mittelpuncte gesehenen Mittelpunkt der Sonne bezeichnet, denjenigen Raum am Himmel, in welchem der Mittelpunkt des Mondes eintreten muß, um irgendwo auf der Erde eine theilweise Verfinsternung zu bewirken; der letzte und kleinste Kreis umschließt den Raum, in welchem der Mittelpunkt des Mondes eintreten muß, wenn irgendwo eine centrale Finsterniß statt finden soll, und die drei dazwischen gezeichneten Kreise geben an, wie nahe der Mond geocentrisch gesehen der Sonne rücken muß, damit irgendwo auf der Erde die Finsterniß 3zöllig, 6zöllig, 9zöllig sey, oder der Rand des Mondes etwa um ein Viertel des Sonnendurchmessers eingetreten ist, oder den Mittelpunkt der Sonne erreicht hat, oder endlich drei Viertel des Sonnendurchmessers verdeckt.

Es kommt jetzt darauf an zu finden, in welchen Zeitpuncte der Mond in diese Kreise eintritt. AJ bezeichne die Ekliptik, und da die Ephemeriden die geocentrische Breite des Mondes, nämlich seines Mittelpunctes, zur Zeit der wahren Conjunction, oder des genauen Neumondes, indem er gerade am Mittelpuncte der Sonne vorbeigeht, angeben, so trage man CH, gleich dieser Breite, nach dem vorhin gebrauchten Secunden-Maßstabe auf. Man suche ferner nach der Angabe der Ephemeriden, wie viele Stunden vor oder nach dem Neumonde sich der Mond in der Ekliptik in J befindet, und bestimme den Punct J in der Zeichnung so, daß CJ der Anzahl von Secunden gleich sey, um welche beim Eintritte des Mondes in die Ekliptik des Mondes Mittelpunkt vom Mittelpuncte der Sonne entfernt ist. Dann ist EHEJ die relative Mondbahn, das ist, wenn man HK gleich dem Raume nimmt, um welchen, 1 Stunde vor der Conjunction,

der Mondmittelpunct noch von der Conjunction entfernt war, wenn man ebenso HL für den Zeitpunkt 2 Stunden vor der Conjunction aufträgt und so ferner, so geben CK, CL die scheinbaren Abstände der Mittelpuncte beider Himmelskörper 1 Stunde, 2 Stunden vor dem Neumonde u. s. w. an; CH ist der Abstand beider Mittelpuncte im Augenblicke der Conjunction, und wenn man CM senkrecht auf JE zieht, so zeigt CM nach dem Secundenmaßstabe, wie weit bei der größten Annäherung die Mittelpuncte noch von einander entfernt bleiben, und HM mit dem einer Stunde entsprechenden Raume HK verglichen, giebt die Zeit an, wie lange vor oder nach der Conjunction die größte Verfinsterung eintritt, oder die Mitte der Verfinsterung.

Hieraus kennt man nun die Zeitpuncte, wenn die Finsterniß auf der Erde anfängt, die Zeit, wo die centrale Verfinsterung auf der Erde anfängt, wann die 3zöllige, 6zöllige, 9zöllige Verfinsterung anfängt, und wenn man den Mond weiter nach F und E verfolgt, so ist der Zeitpunkt, wo der Mittelpunct F erreicht, derjenige, wo die centrale Verfinsterung auf der Erde aufhört, der Zeitpunkt, da er nach E gelangt, entspricht dem völligen Ende der Finsterniß. Man verlangt nun zunächst zu wissen, wo denn der Ort auf der Erde liegt, an welchem man zuerst den Mondrand in die Sonne eintreten oder den ersten Anfang der Verfinsterung sieht, und eben die Frage wird man für alle übrigen eben erwähnten Zeitpuncte und die mit ihm verbundenen Erscheinungen aufwerfen. Zur Beantwortung dieser Frage ist zuerst zu bemerken, daß der Anfang der Finsterniß da gesehen wird, wo die Sonne dann gerade aufgeht. Es läßt sich nämlich 49. aus der Figur wohl übersehen, daß der von Westen, von A hervor der Sonne vorbei rückende Mond seinen Schatten zuerst in B auf die Erde fallen läßt, und daß hier die Sonne im Horizonte steht; sie geht hier auf, weil durch die Rotation der Erde von Westen nach Osten, der Ort B gegen D hin geführt wird, und dieser also die Sonne immer höher über den Horizont hervorkommen sieht. Eben so sieht der Ort, welcher die Sonne total verfinstert aufgehen sieht, die totale Verfinsterung früher als jeder andre Ort, und es läßt sich leicht übersehen, daß, wenn der Mond nach G gelangt ist, der Ort E, welchem die Sonne eben untergeht, der letzte ist auf den noch der Centralschatten fällt. Wie man diese Orte findet, läßt sich so übersehen. Wenn man für den Augenblick, in welchem auf der Erde die Verfin-

Fig. 48. sterung anfängt, die Stellung des Mondes gegen den Mittelpunkt C der Sonne, vom Mittelpuncte der Erde aus gesehen, berechnet, so ergibt sich daraus für den Ort, welchem die Sonne im Zenith steht, ob ihm der Mond nordwestlich oder westlich oder südwestlich vom Zenith erscheinen müßte, wenn es möglich wäre, ihn neben der Sonne zu sehen, oder man kann genau das Azimuth des Mondmittelpunctes für diesen Punct auf der Erde angeben. Offenbar liegt nach eben der Richtung hin von diesem Orte, und zwar 90 Grade von ihm entfernt, der Ort, dem der Mond nun die Sonne zu verfinstern anfängt, und man könnte daher auf einer künstlichen Erdkugel den Ort, wo gerade in jenem Augenblicke die Sonne im Zenith steht, in den höchsten Punct der Kugel bringen, auf dem Horizonte die Gegend, nach welcher zu diesem Orte der Mond vom Zenith entfernt erscheint, aufsuchen und sehen, welcher Ort der Erde gerade da im Horizonte steht; dieser nämlich ist es, welchem die Sonne bei anfangender Verfinsternung aufgeht. Will man eben so den Ort finden, der zuerst die centrale Verfinsternung sieht, so muß man aufs Neue denjenigen Ort in die höchste Stellung bringen, welchem die Sonne im Zenith ist, wenn nach den obigen Bestimmungen die centrale Finsternis anfängt; dieser Ort liegt, da die Sonne ihre Declination nicht erheblich ändert, in eben der geographischen Breite, wie der vorhin betrachtete, aber in anderer Länge, und indem man wieder das Azimuth des Mondmittelpunctes sucht, findet man abermals den Punct des Horizontes der Kugel, wo man den Ort aufsuchen muß, welchem die Sonne central verfinstert aufgeht. Eine gleiche Bestimmung findet für das Ende der centralen Verfinsternung auf der Erde, für das völlige Ende der Finsternis und so ferner statt; und selbst noch mehrere, minder merkwürdige Bestimmungen ließen sich so herleiten.

Um noch vollständigere Bestimmungen zu erhalten, will ich allgemein die Frage zu beantworten suchen, wie weit von dem Puncte, welchem die Sonne im Zenith steht, der Mittelpunct des Central-Schattens entfernt ist, wenn der Abstand der Mittelpuncte beider Himmelskörper ein bestimmter ist. Für jeden gegebenen Augenblick kennt man aus dem Vorigen den geocentrischen Abstand SCM des Mondes von der Sonne, und daher auch den scheinbaren Abstand SAM an dem Orte, wo die Sonne im Zenith steht, der nur um die Höhenparallaxe AMC

größer als jener ist. B ist der Ort, wo das Centrum des Schattens hinfällt, wenn BM verlängert den Mittelpunkt der Sonne trifft, M aber des Mondes Mittelpunkt ist. S soll den Durchschnittspunct der Linien CS, BM anzeigen, und dann ist

$$\text{Sin. CMB} = \frac{\text{CB. Sin. MBC}}{\text{MC}} = \frac{\text{CS. Sin. SCM}}{\text{SM}} \text{ oder da } \frac{\text{CB}}{\text{MC}} = \text{P} =$$

der Horizontalparallaxe des Mondes ist, $\text{Sin. MBC} = \frac{\text{CS. Sin. SCM}}{\text{P. SM}}$;

damit ist dann zugleich CMB, also auch der verlangte Winkel $\text{ACB} = \text{ACM} + \text{MCB}$ bekannt. Diese Rechnung zeigt, daß man den Abstand des Centralschattens von dem Punkte, wo die Sonne im Zenith steht, und auch die Gegend, wohin man von eben diesem Punkte ausgehen müßte, um zu jenem Mittelpuncte des Schattens zu gelangen, in jedem Augenblicke kennt, also den Gang des Schatten-Mittelpunctes auf der Erde vollkommen bestimmen kann.

Ganz ebenso kann man zu irgend einer Zeit den Punct bestimmen, der in der Ebne SMA liegend, den Mittelpunkt des Mondes um $\frac{1}{2}$ des Sonnendurchmessers vom Mittelpuncte der Sonne entfernt sieht. Es stelle nämlich sMb die gerade Linie vor, welche die Sonne in einer Entfernung $= \frac{1}{2}$ des Sonnendurchmessers von ihrer Mitte trifft, so kann ACb ganz wie vorher ACB gefunden werden, und man kennt also die Entfernung der beiden Orte, B, b, wo gleichzeitig die eben erwähnte Ungleichheit der Erscheinungen statt findet. Hätte man bMs durch des Mondes Mittelpunkt nach dem Rande der Sonne gezogen, so würde man den Ort b bestimmen, welchem zu eben der Zeit des Mondes Mittelpunkt im Sonnenrande erscheint; und endlich wenn man bMs nach einem Punkte zöge, der um den scheinbaren Mondhalbmesser vom Rande der Sonne entfernt läge, so hätte man einen Punct b auf der Erde, dem der Mondrand nur den Sonnenrand zu berühren schiene, in eben dem Augenblicke, da in B die Finsterniß central ist.

So liesse sich nicht allein der Gang des Schattenmittelpunctes, sondern des ganzen vollkommenen Schattens und Halbschattens auf der Erde bestimmen, und die Reihe aller der Oerter angeben, wo die Finsterniß eine bestimmte Größe erreicht. Zwar, wenn es auf genaue Bestimmung ankommt, liesse sich noch Etwas gegen diese Regeln erinnern; aber der Zweck ist hier nur

die Möglichkeit jener Bestimmungen ohne erhebliche Rechnung zu zeigen.

Zur strengern Berechnung Anleitung zu geben, scheint hier nicht der Ort zu seyn, da diese Anleitung allemal weitläufig ausfallen wird. Die Berechnung kommt kurz darauf hinaus, daß man für einen gegebenen Punct auf der Erde den geocentrischen Ort so corrigirt, wie es die Parallaxe fordert. Der Mond hat nur eine Parallaxe in der Breite, wenn er sich gerade da befindet, wo die Ekliptik in dem Augenblicke am höchsten über dem Horizonte des Ortes ist, in allen andern Fällen auch eine Parallaxe in der Länge, und da jener höchste Punct der *Nonagesimus* heisst, so hängt also die Berechnung der Parallaxe von der Stellung des Mondes gegen den *Nonagesimus* ab¹. Hat man für verschiedene Zeitpuncte die Parallaxe gefunden, so giebt sie an, wie weit entfernt von dem Puncte, wo des Mondes Mittelpunkt geocentrisch erscheint, man ihn an jenem Orte sieht, und man bekommt so auf gleiche Weise, wie vorhin für das Centrum der Erde, den relativen Weg des Mondes vor der Sonne vorbei, für jenen bestimmten Ort, für welchen die Rechnung geführt wird. Daß dabei auf die Ungleichheit des in verschiedenen Höhen nicht gleich groß erscheinenden Monddurchmessers u. s. w. Rücksicht zu nehmen sey, versteht sich von selbst².

Wenn eine Sonnenfinsterniß genau beobachtet worden ist, so dient sie zur Bestimmung des Längen - Unterschiedes zweier Orte, indem ja so gut, wie man für einen gegebenen Ort die Zeiten des Eintritts, Austritts u. s. w. berechnen kann, auch umgekehrt aus der Beobachtung des Eintritts, Austritts u. s. w. die Lage des Ortes, wenigstens seiner Länge, wenn die Breite bekannt ist, hergeleitet werden kann.

Die Sonnenfinsternisse älterer Zeiten zu berechnen, kann oft für die Chronologie wichtig seyn; denn da große, besonders totale, Sonnenfinsternisse in einer bestimmten Gegend nur selten vorkommen, so kann eine Begebenheit, für welche die Zeit selbst um mehrere Jahre ungewiß wäre, bis auf den Tag genau bestimmt werden, wenn sie mit einer solchen Erscheinung zu-

1 Vergl. die Art. *Nonagesimus* und *Parallaxe*.

2 Alle Lehrbücher der Astronomie geben diese Rechnungsmethoden an, z. B. Schubert astronomie théorique. Livre V. u. populärer, Schubert's popul. Astron. II. 359. Piazzì Lehrb. d. Astron. II. 279.

sammen traf. Aus diesem Grunde enthält das berühmte Buch, *l'art de verifier les dates*¹, ein Verzeichniß der Finsternisse vom Jahre 1 bis 2000. Einzelne Untersuchungen der Art gehören nicht hierher, doch mag die Sonnenfinsterniß, die während der Schlacht am Halys eintrat, hier erwähnt werden, da sie zugleich in der Geschichte der Astronomie berühmt ist, als die erste, welche von THALES vorausgesagt seyn soll. Diese Finsterniß kann keine andere als die am 30. Sept. im Jahre 610 vor unserer Zeitrechnung seyn; diese war in der Gegend des Kampfplatzes beinahe total².

Die Erscheinungen, welche die sehr großen Sonnenfinsternisse darbieten, verdienen noch etwas näher erwähnt zu werden. So lange noch ein kleiner Rand der Sonne unbedeckt vom Monde übrig bleibt, ist die Helligkeit noch immer sehr groß; eine etwas auffallende Verminderung der Helligkeit tritt ein, wenn die Breite des hellen Theiles der Sonne nicht mehr $\frac{1}{4}$ des Sonnendurchmessers beträgt; aber auch dann und fast zum Verschwinden des letzten Randes der Sonne ist doch die Erleuchtung der Erde und Atmosphäre noch immer sehr bedeutend. Daher hat dann, wie die Beobachter versichern, welche totale Sonnenfinsternisse bei heiterm Himmel gesehen haben, die plötzliche Finsterniß in dem Augenblicke, wo der letzte Lichtrand verdeckt wird, etwas sehr Auffallendes. Bei der Sonnenfinsterniß am 19. Nov. 1816, die in Breslau $11\frac{1}{3}$ zöllig war, oder nur einen Rand, welcher an der breitesten Stelle $\frac{1}{10}$ des Sonnendurchmessers betrug, unverfinstert übrig liefs, war die dämmerige Dunkelheit bei dick bewölktem Himmel zwar sehr merklich, aber doch nicht so groß als man zu erwarten geneigt seyn möchte. Selbst in Bütow in Pommern, wohin Tönnies sich begeben hatte, um die dort totale Verfinsternung zu beobachten, war bei der totalen Verfinsternung, deren Beobachtung die Wolken hinderten, die Dunkelheit nur einer starken Dämmerung ähnlich³.

1 Nouv. edit. p. St. Allais Vol. I. p. 269. Nachrichten von totalen Finsternissen giebt v. Zach Corr. astr. II. 560. Ein Verzeichniß der in Paris sichtb. Finst. im 19. Jahrhundert Astr. Jahrb. 1803. S. 227.

2 Die Gründe, warum andere Meinungen über Tag und Jahr dieser Finsternisse unzulässig sind, giebt OLTMANNs an, Schr. d. Berlin. Akad. 1812. 1813. u. Astr. Jahrbuch 1823. S. 197.

3 Astron. Zeitschrift von v. Lindenau III. 125.

Ueberhaupt scheint die Dunkelheit bei totalen Sonnenfinsternissen sehr ungleich zu seyn. LOUVILLE beschreibt sie bei der Finsterniß am 3. Mai 1715 in London auch nicht wie völlige Nacht, sondern legt ihr etwas Eigenthümliches, auch von der Dämmerung Verschiedenes, bei. Eben das Eigenthümliche bemerkten SANTINI, BÜRG und BÖCKMANN bei der ringförmigen Finsterniß am 7. Sept. 1820, die sie an verschiedenen Orten beobachteten. SANTINI sagt, ein mattes, trauriges Licht habe sich über alle Gegenstände verbreitet, und eine Empfindung hervorgebracht, derjenigen ähnlich, die man hat, wenn man zum ersten Male durch grüne Brillen sieht. BÖCKMANN sah den Himmel graulich violett¹.

In andern Fällen ist eine tiefere Dunkelheit eingetreten, namentlich hat DAVIZARD, der am 12. Mai 1706 in Arles die dort 5 Minuten dauernde totale Verfinsterung beobachtete, die Dunkelheit so angegeben, daß einer den andern nur mit Mühe erkannte; die Nachtvögel kamen hervor, und die übrigen Vögel zogen sich zurück, obgleich es erst halb zehn Uhr Vormittags war. Aehnliche Nachrichten hat man auch von andern Beobachtern totaler Finsternisse². Indefs erhellet, dünkt mich, leicht, daß die Finsterniß in den meisten Fällen nur der Dämmerung gleich kommen kann; denn selten hat der Schatten auf der Erde mehr als 4 oder 6 Meilen Durchmesser, und selbst der im Centro des Schattens stehende Beobachter erhält in diesem Falle von den gegen seinen Horizont hinstehenden Wolken noch zurückgeworfenes, wenn gleich durch den Halbschatten sehr geschwächtes Licht. Bei sehr langer Dauer der totalen Finsterniß ist freilich der völlig beschattete Raum der Erde und der Atmosphäre größer, und die Finsterniß also tiefer. Daß man die Finsterniß recht eigentlich herannahen sieht, nämlich die westwärts liegenden Gegenstände schon im Dunkeln sieht, während man selbst noch im Sonnenlichte ist, bemerkt LORENZ bei der Finsterniß im November 1816. Er erzählt auch, daß für ihn, der sich ziemlich am Rande der totalen Verfinsterung befand, alle in bedeutender Entfernung südwärts liegenden Gegenstände sich erhellet zeigten, während ihm die Sonne total verfinstert war³.

1 G. LXVI. 216.

2 de Zach corr. astron. III. 289. 532.

3 Astron. Jahrb. 1824. S. 181.

Sterne hat man mehrmals selbst bei nicht totalen Finsternissen gesehen.

Dafs man auf dem vor die Sonne tretenden Monde die Berge, die über den Rand des Mondes hervorragen, erkennt ¹, läfst sich leicht erachten. Die Beobachtung ULLOA's, der im Monde, etwas entfernt vom Rande, einen hellglänzenden Punct sah, als ob hier das Sonnenlicht hervorbräche ², ist sonst nie wieder vorgekommen; doch bemerkte RÜPPELL 1820, dafs das eine Horn des noch übrigen Theils der Sonne durch einen vorragenden Mondberg abgestumpft war, und dafs daneben eine ganz feine helle Oeffnung, ein Durchdringen des Lichtes durch das neben dem Berge liegende Thal sichtbar war ³.

Den hellen Ring, den man bei totalen Finsternissen um den Mond gesehen hat, habe ich in dem Artikel: *Atmosphäre des Mondes* erwähnt. Die dort mitgetheilte Erklärung dieser Erscheinung von BODE, dafs dieser Ring in der erleuchteten Erd-Atmosphäre entstehe, hat doch das gegen sich, dafs bei totalen Finsternissen von einiger Dauer die Erde und die Atmosphäre um den Beobachter auf einige Meilen weit mit Schatten bedeckt ist, also das nach der Sonne hinsehende Auge nur auf beschattete Theile unserer Atmosphäre trifft. Dieser Ring muß also anders erklärt werden, und da, wie BIANCHI und AMICI mit Recht aus ihren Beobachtungen zu schliessen scheinen, Inflexion des Lichts und Brechung in der Mondatmosphäre nicht merklich statt zu finden scheint ⁴, so ist die Erscheinung wohl noch nicht erklärt; was indess die Wirkung der Inflexion betrifft, so könnte diese, als doch nur matteres Licht in den beschatteten Raum bringend, vielleicht wenig merklich seyn, so lange noch etwas ungeschwächtes Sonnenlicht unser Auge trifft, und dennoch bei totaler Verfinsterung merklich werden.

Auch die Erwärmung durch die Sonne nimmt während großer Sonnenfinsternisse bedeutend ab. BÖCKMANN beobachtete diese Abnahme an Thermometern mit ungeschwärzter und mit geschwärzter Kugel und an Leslie'schen Photometern. Beim Anfange der Finsternis stand das Thermometer mit ungeschwärz-

1 Astron. Jahrb. 1797. 152. de Zach Corr. astron. IV. 181.

2 Journ. de Phys. 1780. Avril.

3 de Zach Corr. astron. IV. 185.

4 Corr. astron. IV. 280.

ter Kugel etwa auf 26° , bei der ringförmigen Verfinsterung auf 17° , am Ende der Finsterniß auf 23° ; das Thermometer mit geschwärzter Kugel stand vor der Finsterniß 7 bis 8 Grade, nach der Finsterniß ungefähr 7 Grade höher als jenes, bei der ringförmigen Verfinsterung betrug dagegen der Unterschied kaum einen Grad. Noch auffallender als diese Verschiedenheit war die Aenderung in den Anzeigen des Leslie'schen Photometers, aber es scheint mir¹ an hinreichenden vergleichenden Beobachtungen zu fehlen, um den Gang dieses Instruments richtig zu beurtheilen; indess giebt BÖCKMANN an, daß das eine bei gewöhnlichem Tageslichte 62,2 Grad, vor Anfang der Finsterniß 130 Gr., zur Zeit der ringförmigen Finsterniß 73 Gr., nach der Finsterniß 120 Gr. zeigte². FLAUGERGUES schließt aus ähnlichen Beobachtungen, daß der Unterschied zwischen der Temperatur in der Sonne und im Schatten der Größe des unbedeckten Theils der Sonne proportional war. Die Größe der Sonnenscheibe betrug nämlich 2865213 Quadrat-Secunden, des unbedeckten Theils bei der größten Verfinsterung in Viviers = 578279 Quadrat-Secunden, und diese Zahlen verhalten sich, wie 4,94 zu 1. Der Unterschied der Thermometerstände in der Sonne und im Schatten war 4,3 Grad bei unverfinsteter Sonne, und 0,95 Grad bei der größten Verfinsterung; diese Zahlen verhalten sich, wie 4,52 zu 1, was allerdings nicht weit von jenem Verhältnisse abweicht.³

Verfinsterungen der Nebenplaneten und Sonnenfinsternisse auf andere Planeten.

Jupiter, Saturn und Uranus haben Monde oder Nebenplaneten, welche sie ebenso, wie der Mond die Erde, begleiten; da wir aber nur die Monde des Jupiters mit Leichtigkeit beobachten können, so will ich auch nur von diesen hier reden. Die *Monde des Jupiter* haben sämtlich Bahnen, die wenig gegen die Bahn des Jupiter geneigt sind, und da sie auf diese Weise sich nie weit von dem Kreise, den die Bewohner jenes Planeten als Bahn der Sonne am Himmel ansehen, entfernen, der Schatten des Jupiter aber groß ist, so werden sie sehr oft

1 Und eben das hat EGEN schon bemerkt. G. LXX. 321.

2 Die vollständigen Beob. in G. LXVI. 215. Aehnliche Beob. in Bologna stehen in d. Correspond. astron. IV. 183.

3 Journ. de Phys. 1821. Juin.

von ihrem Hauptplaneten beschattet. Die Monde des Jupiter sind überdies ihren Hauptplaneten viel näher nach Verhältniß seiner Größe, als unser Mond der Erde ist; denn selbst der entfernteste ist nicht völlig 26 Jupiters-Halbmesser von ihm entfernt, statt daß der Mond 60 Erd-Halbmesser von der Erde absteht. Hieraus ist es leicht zu übersehen, daß die Verfinsterungen sehr oft, bei den kurzen Umlaufzeiten der nächsten Monde, fast täglich eintreten müssen; indem die drei nächsten bei jedem Umlaufe und auch der vierte oft, verfinstert werden. Man beobachtet diese Verfinsterungen am besten, wenn der Jupiter der Quadratur nahe ist; denn bei seiner Opposition mit der Sonne liegt der Schatten uns gerade hinter dem Jupiter und die Eintritte und Austritte der Monde in den Schatten und aus dem Schatten könnten höchstens ganz nahe am Rande des Jupiter wahrgenommen werden, statt daß wir, wenn der Planet 90 Grade von der Sonne entfernt ist, eine Stellung haben, wo wir den in den Schatten eintretenden oder aus demselben austretenden Mond ziemlich entfernt vom Hauptplaneten sehen. Um die Zeit der Quadratur kann man Anfang und Ende der Finsterniß des dritten und vierten Mondes beobachten; bei den Finsternissen des zweiten ist dieses nur sehr selten möglich, und bei diesem fast immer, bei dem ersten Monde durchaus immer muß man sich begnügen, vor der Opposition den Anfang, nach der Opposition das Ende der Finsterniß zu beobachten. Die Verfinsterungen können bei dem ersten $2\frac{1}{4}$ Stunde, beim zweiten 2 St. 50'; beim dritten 3 St. 34', beim vierten 4 St. 46' dauern und treten beim ersten allemal nach $42\frac{1}{2}$ Stunden, beim zweiten nach 3 Tagen 13 Stunden, beim dritten nach 7 Tagen 4 Stunden wieder ein.

Die Berechnung dieser Verfinsterungen beruht auf einer genauen Kenntniß der Umlaufzeiten und Entfernungen dieser Monde von ihrem Hauptplaneten. Lägen nicht die Bahnen der Monde dem Aequator des Jupiter so nahe, so würde die sehr von der Kugel abweichende Gestalt des Jupiter die Berechnung bedeutend erschweren; denn wenn eine leuchtende Kugel ein undurchsichtiges Sphäroid bescheint, so ist der Schatten nicht mehr ein Kegel, sondern eine andere abwickelbare Fläche, für die man eine Gleichung findet, wenn man die allgemeine Gleichung für eine, beide Flächen berührende, Ebene aufsucht. Diese merkwürdige Fläche hat LARLACE nur so weit als die Theorie

dieser Finsternisse es fordert, untersucht, sie verdient aber wohl eine nähere Betrachtung¹.

Dafs die Beobachtungen der Verfinsterungen der Jupitersmonde dazu gedient haben, die Geschwindigkeit des Lichts zu bestimmen, wird im Art. *Licht* erklärt. Aber auch zur Längenbestimmung dienen sie, da ihr Unsichtbarwerden unter ganz gleichen Umständen an mehreren Orten beobachtet, den Beobachtern gleiche Zeitmomente und damit den Mittagsunterschied der Orte angiebt. Die Schwierigkeit dabei ist nur, dafs wegen ungleicher Reinheit der Luft und ungleicher Stärke der Fernröhre Verschiedenheiten in die Bestimmung kommen können, die sich nicht mit Sicherheit angeben lassen. Das Verschwinden des Jupitermondes ist nämlich kein momentanes Phänomen, sondern er wird, so gut als unser Mond nach und nach verdunkelt, und daher dem Beobachter eher unsichtbar, welchen dunstige Luft oder ein minder starkes Fernrohr hindern, den schwachen Ueberrest der Erleuchtung zu sehen, die ein anderer Beobachter unter günstigen Umständen noch bemerkt.

Endlich gehört zu diesen Betrachtungen über Finsternisse auch noch die Bemerkung, dafs auch die Bewohner anderer Hauptplaneten Sonnenfinsternisse sehen, und dafs wir die Verfinsterung, die alsdann der Planet erleidet, am Jupiter oft wahrnehmen können. Man sieht nämlich, wenn einer der Jupitersmonde zwischen ihm und der Sonne vorbei geht, mit Fernröhren auf dem Jupiter einen Schatten, der gerade eben das ist, was bei uns der Mondschatten zur Zeit einer Sonnenfinsternis; dieser Schatten nimmt aber auf dem Jupiter immer nur einen sehr unbedeutenden Raum ein, da die Monde gegen den Planeten sehr klein sind.

Auf dem *Saturn* verfinstert der breite Ring manchen Gegenden auf lange Zeiten die Sonne, wovon in dem Art. *Saturnsring* mehr gesagt werden wird. B.

F i r m a m e n t .

Firmamentum; le firmament; *the firmament*; das Himmelsgewölbe zeigt sich uns so, als ob es eine feste Halbkugel

¹ Mécanique céleste. Tome IV. p. 105. BRANDES höhere Geometrie. II. 840.

wäre, und von diesem Anscheine ist offenbar der Ausdruck, daß man sie das Firmament genannt hat, hergenommen. Unter dem Art. *Himmel* wird die genauere Untersuchung, welche Form wir in unserer Vorstellung diesem Gewölbe beilegen, vorkommen.

B.

Fische, elektrische.

Zitterfische, Krampffische; *Pisces electrici*;
Poissons électriques, Trembleurs; *Electric Fishes*.

Man belegt mit diesem Namen alle diejenigen Fische, welche das Vermögen besitzen, Menschen und Thieren, wenn sie unmittelbar oder mittelbar mit ihnen in Verbindung kommen, eigenthümliche, den elektrischen Erschütterungen ähnliche, Schläge zu ertheilen, und einen Krampf und Erstarrung in ihren Muskeln dadurch zu verursachen. Diese elektrischen Fische finden sich in den verschiedensten Abtheilungen und Geschlechtern ihrer Classe, aus denen sie einzeln mit jener sonderbaren Eigenschaft hervortreten. Nur das haben sie alle mit einander gemein, daß sie ohne Schuppen mit einer schleimigen Haut bedeckt sind. Gewöhnlich zählt man folgende fünf Arten auf: den Zitterrochen (*Raja Torpedo*); den Zitteraal (*Gymnotus el.*); den Zitterwels (*Silurus el.*); den elektrischen Spitzschwanz (*Trichiurus el.*); und den elektrischen Stachelbauch (*Tetrodon el.*). Nach Risso soll aber das mittelländische Meer vier verschiedene Arten von Zitterrochen beherbergen, die derselbe daher unter einem neuen Geschlechte, *Torpedo*, vereinigt hat. *Torpedo Galvanii*, der am meisten bekannte Rochen, *T. Narke*, *T. unimaculata* und *T. marmorata*¹. Auch ist wahrscheinlich der Krampfrochen vom Vorgebirge der guten Hoffnung, an welchem Todd seine Versuche anstellte, eine besondere Art. Die Erscheinungen, welche diese Fische zeigen, und welche insbesondere an zweien Arten derselben, dem Zitterrochen und Zitteraal von mehreren berühmten Physikern und Naturforschern genau studirt worden sind, haben ein so hohes Interesse auch für die eigentliche Physik, daß

1 S. v. HUMBOLDT in Ann. de Chimie et Phys. XI. 409.

eine genauere, aus den Quellen selbst bearbeitete Zusammenstellung aller wichtigen Beobachtungen und eine kritische Prüfung der verschiedenen zur Erklärung so merkwürdiger Erscheinungen aufgestellten Hypothesen in diesem Werke eine Stelle verdient.

I. Geschichte und Literatur.

Die *Raja Torpedo* (*Torpedo Galvanii*) der Krampf- oder Zitterrochen (le Tremble, la Tropicille; the *Torpedo*) war schon den Alten bekannt, und eine so außerordentliche Eigenschaft bei einem Thiere, welches sich an den verschiedenen Küsten des mittelländischen Meeres (aber auch an der westlichen Küste Frankreichs, und der südlichen Englands) findet, konnte ihnen nicht verborgen bleiben. In PLATO's Gespräch MENO wird dieses Thier mit seiner betäubenden Eigenschaft erwähnt, ARISTOTELES nennt ihn oftmals¹, PLINIIUS² nur kurz und hält die Erschütterungen desselben für ein wahrscheinliches Heilmittel, als welches sie auch, namentlich gegen halbseitiges Kopfweh und Gicht nach SCRIBONIUS LARGUS, DIOSKORIDES und GALENUS in Anwendung gebracht wurden. Auch von PLUTARCH³ wird das Thier genannt.

Die ersten anatomischen Untersuchungen über die elektrischen Organe des Zitterrochens verdanken wir den Italienern REDI⁴ und LORENZINI⁵, welche die Röhren oder Säulen derselben für eben so viele Muskeln von besonderer Art (*Musculi falcati*) hielten. RÉAUMUR⁶ that einen grossen Schritt weiter, indem er in einer ausführlichen Abhandlung nicht blos eine Reihe von Versuchen bekannt machte, sondern auch eine sinnreiche mechanische Erklärung der von diesem Fische ertheilten Schläge aufstellte, gegründet auf den Bau der elektrischen Organe, deren Structur er sehr genau beschrieb. Die eigentliche

1 Hist. de Animal. II. 13. IX. 37. de part. animal. IV. 13.

2 Lib. XXXII. Nat. Hist. 1.

3 De industria Animalium p. 246.

4 Fr. Redi Exper. Natur. Flor. 1666.

5 Osservazioni intorno alle Torpedini da Stef. Lorenzini Flor. 1678.

6 Mémoires de l'acad. de Paris année 1714. Hist. p. 24. Mém. p. 447. Edit. d'Amsterd. 8.

Epoche einer richtigen Einsicht in das Wesen dieser Erscheinungen beginnt aber erst mit den schönen Versuchen von JOHN WALSH im Jahre 1672¹, wodurch zuerst die Uebereinstimmung der von dem Zitterrochen abhängigen Erscheinungen mit den elektrischen in ein helles Licht gesetzt wurden, eine Entdeckung, die bei dem damals so regen Interesse für alles, was sich auf Elektrizität bezog, die allgemeinste Aufmerksamkeit der Physiker erregte. Der berühmte Anatom JOHN HUNTER² lieferte zugleich eine neue durch eine meisterhafte Abbildung verdeutlichte Beschreibung der elektrischen Organe, und CAVENDISH³ verbreitete zwei Jahre später durch Nachahmung der am Zitterrochen angestellten Versuche mit der gewöhnlichen Elektrizität mittelst eines künstlichen Zitterrochens ein neues Licht über diesen Gegenstand. Fernere interessante Versuche an dem Zitterrochen selbst verdankte man bald nachher INGENHOUSZ⁴ und später SPALLANZANI⁵. Die Entdeckung der Galvani'schen Erscheinung leitete später von neuem die Aufmerksamkeit der Physiker auf diese analogen Phänomene, und veranlafsten namentlich den glücklichen Entdecker derselben ALOYS GALVANI, so wie seinen Neffen ALDINI⁶ zu Versuchen mit diesem Fische; noch interessanter wurden aber alle elektrischen Fische durch die Entdeckung der Volta'schen Säule, in welcher man das eigentliche Erklärungsprincip der im Ganzen doch immer noch in ihrer Entstehungsweise räthselhaft gebliebenen Erscheinungen zu finden glaubte. v. HUMBOLDT und GAY-LÜSSAC⁷ stellten

1 Of the electric Property of the Torpedo. In a Letter from John Walsh. Philos. Transact. Vol. 63. Year 1774. p. 461. vgl. auch Roz. Observat. etc. 1774. IV. p. 205 ff.

2 Anatomical Observations of the Torpedo by John Hunter c. I. p. 481.

3 An account of some attempts to imitate the effects of the Torpedo by Cavendish. Phil. Trans. Vol. 66. for 1776. p. 196.

4 Extract of a Letter etc. Phil. Trans. LXXV. Year 1775. p. 1.

5 Opusculi soelti di Milano 1783. ein Auszug im Goth. Magazin f. d. N. II. Bd. 3tes St. S. 89. und Memorie di Matematica et Fisica della società italiana Tome II. p. 603. deutsch in den Leipz. Samml. zur Physik und Natargeschichte. IV. Bd. 3tes St. 328 und im Ausz. im Goth. Magaz. V. Bd. 3tes St. S. 41.

6 Aldini Essai théorique et expérimental sur le Galvanisme. Paris, 1804 Vol. II. p. 61. auch in G. XIV. 331.

7 Annales de Chimie. LVI. 15—23, daraus in Gehlen's N. J. d. Ch. VI. 166. und G. XXII. 51.

zuerst aus diesem Gesichtspuncte neue Versuche mit dem Zitterrochen an (1803). VOLTA¹ selbst entwarf in einem sehr ausführlichen Aufsätze mit großem Scharfsinne einen Plan zu einer neuen Reihe von Versuchen, um die Uebereinstimmung jener Erscheinungen mit denen seiner Säule aufser allen Zweifel zu setzen, nach welchem auch CONFIGLIACHI² solche Versuche wirklich anstellte; dem englischen Wundarzte TODD endlich³ verdankt man die neuesten Versuche über diesen Gegenstand.

2. Der Zitteraal Drillfisch (*Gymnotus electricus*, s. *tremulus*, anguille tremblante, *electrical eel*.) wurde zuerst durch den französischen Astronomen RICHER bekannt, der, als er im Jahre 1672 in Cayenne seine berühmten Pendelversuche anstellte, die merkwürdige Eigenschaft des Fisches bei der unmittelbaren Berührung mit dem Arm oder mit einem Stabe den Arm erstarren zu machen und selbst Schwindel zu erregen, an sich selbst erfuhr, und eine Nachricht darüber seinem Tagebuche einverleibte⁴. Einige Jahre später 1680 theilte auch BERKEL, der diesen Fisch in den Flüssen der holländischen Niederlassungen in America fand, eine Nachricht davon mit⁵.

Im Jahre 1757 wandte sich der berühmte Naturforscher ALLAMAND zu Leiden, der von dem Zitteraale von Surinam und seiner Erschütterungskraft gehört hatte, an seinen Freund s⁷ GRAVESANDE, Gouverneur von Essequebo, wegen genauerer Nachrichten von demselben, und dieser bestätigte in seinem Schreiben⁶ vollkommen die damals schon bekannten Nachrichten, sprach die Uebereinstimmung der Wirkungen mit denen der Elektrizität aus, und verglich die Erschütterungen mit denen der Leidner Flasche, die sogar von jenem an Stärke über-

1 In den Annali di Chimica e storia naturale di Brugnatelli, Tome XXII, daraus übersetzt mit interessanten Anmerkungen von W. Ritter in Gehl. J. d. Ch. u. Ph. IV. 612.

2 Ebend., übers. in Gehl. J. a. a. O. S. 647.

3 Philos. Trans. 1816. I. 120. und daraus in Schweig. J. XIX. 10.

4 Mémoires de l'académie des Sciences pour 1677. par Dühamel auch Historia regiae Scientiarum academiæ p. 168. vgl. Réaumur in den Mém. etc. de l'acad. 1714. p. 466.

5 S. dessen Reise nach Rio de Berbice in der Sammlung seltener und merkwürdiger Reise-Geschichten. Memmingen 1789. 8. S. 230.

6 Haarlemer Verhandelingen II. Decl. p. 372.

troffen würden. s' GRAVESANDE würde also gleichsam das Verdienst zukommen, zuerst das *rechte Wort* für diese Erscheinung (im Jahre 1757) gebraucht zu haben, wenn nicht schon ADANSON in seinem Reise-Journale vom Jahre 1751 von einem im Senegal gefangenen *Zitterfische*, der Aehnlichkeit mit einem Aale habe, dieselbe Bemerkung mitgetheilt hätte. „Diesen Fisch“, heißt es daselbst, „nennen die Franzosen Zitterfisch, wegen seines Vermögens nicht sowohl eine Betäubung (*engourdissement*) hervorzubringen, wie der Zitterrochen, sondern ein sehr schmerzhaftes Erzittern in den Muskeln derer, die ihn anrühren. Seine Wirkung, die mir nicht merklich verschieden von der Erschütterung der Leidner Flasche erschien, welche ich bereits mehrere Male erfahren hatte, theilt sich auch bei der Berührung mit einem Stabe oder einer eisernen Stange von 5 bis 6 Fuß Länge mit, und zwar in einem solchen Grade, daß man in demselben Augenblicke alles, was man in der Hand hat, fallen läßt¹“. Indessen läßt sich aus den wenigen anderweitigen Zügen, die ADANSON zur Charakteristik des Fisches mittheilt, und aus dem Aufenthaltsorte schließen, daß jener Fisch nicht der *Gymnotus electricus*, sondern der *Silurus electricus* war. Außer durch ALLAMAND wurden nun auch durch SEBA, ARTEDI, GAUBIUS und GRONOV² Nachrichten über diesen Fisch bekannt gemacht. Was man damals von ihm wußte, wird bei MUSSCHENBROEK³ sehr vollständig erzählt.

Man begreift leicht, daß durch die schönen Versuche des Engländers JOHN WALSH mit dem Zitterrochen der Zitteraal ein neues Interesse gewinnen mußte, und wirklich liefs auch die-

1 Lettre de MONTELMART in Rozier Observat. etc. 1775. V. 444. Dieser Brief hat vorzüglich zum Zweck die Priorität der Vergleichung der Erschütterungen dieser Fische mit den elektrischen für ADANSON gegen s' GRAVESANDE, welchen PRINGLE, der Präsident der Royal Society in einer bei Gelegenheit der Entdeckung von WALSH gehaltenen Rede auf eine Linie mit s' GRAVESANDE gestellt hatte, zu vindiciren. Das Reise-Journal von ADANSON war zwar auch erst im Jahre 1757 erschienen, aber aus diesem erhelte gerade, daß ADANSON jene Bemerkung schon im Jahre 1751 gemacht hatte. Doch bleibt s' GRAVESANDE immer noch das Verdienst, auch für sich diese Vergleichung gemacht zu haben, da ihm bei Mittheilung seiner Nachricht ADANSON's Journal noch nicht bekannt seyn konnte.

2 Descriptio Gymnoti tremuli in actis Helvet. Basil. 1760. p. 26.

3 Introductio ad Philosoph. natur. Lugd. Batav. 1762. I. §. 901.

ser Naturforscher auf seine Kosten mehrere derselben lebend nach England transportiren, wo sie in London im Jahre 1775 der Gegenstand vieler Versuche wurden, von denen zwar WALSH selbst keine Nachricht gegeben hat, von welchen aber die Abhandlungen von LE ROY¹ und INGENHOUSZ² eine nähere Auskunft geben. Auch machte nunmehr JOHN HUNTER³, so wie früher von Zitterrochen eine meisterhafte Beschreibung und Abbildung vom elektrischen Organe dieses Fisches bekannt. Gleichzeitig mit jenen Arbeiten erschienen auch die Resultate der Untersuchungen zweier americanischer Naturforscher, die jedoch, wie es scheint, von der Entdeckung des Engländers WALSH in Betreff des Zitterrochens bereits Kunde hatten, nämlich von HUGH WILLIAMSON⁴ in Philadelphia und von GARDEN⁵ in Charlestown. Von späteren Abhandlungen, welche theils neue Bemerkungen lieferten, theils die frühern Erfahrungen bestätigten, verdienen dann noch genannt zu werden, diejenige von WILL. BRYANT⁶, und von H. COLLINS FLAGG⁷, und von SAM. FAHLENBERG⁸. Eine frühere Mittheilung eines DR. SCHELLING⁹ über den Einfluß der magnetischen Kraft auf den Zitteraal verlor dadurch ihr Interesse, daß ihr durch alle spätere Versuche widersprochen wurde.

3. Der Zitterwels (*Silurus electricus*), der in den africanischen Flüssen zu Hause ist, wurde, wie schon oben bemerkt, ohne allen Zweifel zuerst von ADANSON, (1751) der

1 Lettre etc. par M. Le Roy. Journal de Physique ann. 1776. Oct. p. 333.

2 Ingenhouz vermischte Schriften von Molitor. Wien. 8. 1782. S. 272.

3 Account of the Gymnotus electricus. Phil. Trans. Vol. LXV. P. II. p. 395.

4 Phil. Trans. Vol. LXV. Year 1775. p. 94.

5 Ebend. p. 102.

6 Account of an electric Eel in den Transactions of the Americ. Society held at Philadelphia Tom. II. Philadelphia 1786. 4. im Auszuge im Goth. Magazin V. 3. S. 163.

7 Observations on the Numbfish or torporific Eel Ebend.

8 Vetensk. Acad. Nya Handlingar 1801. S. 122. Daraus in G. XIV. 456.

9 Nouveaux Mémoires de l'acad. de Berlin 1770. p. 68. und Observ. physic. de torpedine Pisce in Diatribe de Morbo in Europa pene ignoto quem Americani Jaws appellant. Traj. ad Rh. 1778.

ihn im Senegal fand, bekannt gemacht, später von FORSKÄL¹ erwähnt, dann genauer von BROUSSONET² beschrieben, doch verdanken wir die nähere Kenntnifs seiner elektrischen Organe GEOFFROY³.

4. Der *Tetrodon electricus* (elektrische Stachelbauch) ist von dem englischen Schiffslieutenant PATERSON⁴ bei der Insel St. Juan, einer der Comoren zwischen der Küste Zangueber und der Insel Madagascar entdeckt und seine Beschreibung 1786 bekannt gemacht, aber die Nachrichten über seine elektrischen Eigenschaften sind eben so dürftig wie

5. in Betreff des *Trichiurus electricus*, der schon den ältern Ichthyologen WILLOUGBY⁵ und RAI⁶ bekannt war und von NIEUBECK⁷ erwähnt wird.

Eine Vergleichung der elektrischen Organe der drei ersten Fische lieferte GEOFFROY in der oben erwähnten Abhandlung, so wie wir auch noch in den neuesten Zeiten ALEX. v. HUMBOLDT⁸ einen gehaltreichen Aufsatz über alle elektrische Fische verdanken.

II. Die elektrischen Organe oder elektromotorischen Apparate.

Die merkwürdigen Wirkungen, welche die Zitterfische zeigen, hängen von gewissen, ihnen eigenthümlichen Organen ab, auf welche sie schon in den früheren Zeiten beim Zitterrochen bezogen worden sind, und welche daher auch, seitdem die elektrische Natur jener Erscheinungen außer Zweifel gestellt worden, die elektrischen Organe und in neueren Zeiten nach der

1 Fauna arabica p. 15. Nr. I.

2 Mém. de l'acad. de Paris 1782.

3 Annales du Muséum d'hist. nat. I. 392. übersetzt in G. XIV. 397.

4 Phil. Trans. Vol. LXXVI. P. II. No. 9. u. im Goth. Magaz. Bd. IV. St. 4. S. 48.

5 Ichtyol. applic. III. 31.

6 Pisces p. 171. Vgl. Gmelin's Ausgabe von Linnæi Syst. Nat. Tom. I. Pars III. p. 114.

7 Dessen Indische Reise II. 270.

8 Sur les Gymnotes et autres Poissons électriques in Ann. de Chim. et Phys. XI. 403.

Aehnlichkeit mit der Volta'schen Säule ihre elektromotorischen Apparate genannt worden sind. Der Zitterrochen hat nach RÉAUMÜR's früheren und den spätern besonders genauen Untersuchungen HUNTER's zwei elektrische Organe. Sie liegen zwischen den großen halbkreisförmigen Knorpel der Brustflossen, den Kiemen und der Hirnschale jedes auf seiner Seite. Der Länge nach reichen sie von dem vordern Ende des Thiers, dessen ganze Länge gewöhnlich 15 bis 20 Zoll beträgt (doch wurde an der südlichen Küste von England ein solcher Rochen von dritthalb Fuß Länge gefangen)¹ bis zu dem Querknorpel der die Brust von dem Bauche trennt, und nehmen ungefähr den dritten Theil der ganzen Länge des Körpers ein. In dieser ihrer Ausdehnung füllen sie zugleich die ganze Dicke des Thieres von oben nach unten aus, sind mit der ordentlichen Haut und unter dieser noch mit zwei besondern Membranen oder Bändern bekleidet, wovon die äußere aus der Länge nach laufenden Fasern besteht, die in unzähligen Stellen durchbohrt zu seyn scheinen, und deren Ränder ringsumher mit der Haut verbunden sind; die innere dieselbe Beschaffenheit hat, doch so daß ihre Fasern sich einigermassen mit denen der äußern kreuzen, indem sie von der Mittellinie des Körpers nach außen und rückwärts gehen. Unter diesen beiden Häuten befinden sich nun die eigentlichen Organe, nämlich senkrechte Prismen oder Säulen (*Columns*, Cylinder von RÉAUMÜR genannt) welche die Dicke eines Gänsekiels oder nach HUNTER von 0,2 Zoll haben, von einer Seite des Körpers zur andern reichen, und deren Länge nach der verschiedenen Dicke des Fisches verschieden ist, die also nach innen am längsten, nach außen am kürzesten sind. Die Zahl dieser Säulen ist sich nicht gleich, und zwar bemerkt man diese Verschiedenheit nicht nur bei verschiedenen Zitterrochen, sondern sie scheint hauptsächlich auch von dem Alter des Thiers herzukommen, so daß etwa, wenn der Fisch an Größe zunimmt, immer neue entstehen mögen. In demjenigen, welchen HUNTER secirte, fand man 470 in jedem Organe, dagegen in jenem sehr großen, an der Küste von England gefangenen, Rochen sogar 1182 solcher Säulen in dem einzelnen Organe. Die meisten dieser Säulen sind nach HUNTER entweder irreguläre Sechsecke oder Fünfecke, allein ihre Gestalt bleibt sich nicht gleich, doch will HUNTER

¹ Phil. Trans. LXVI. 1.

sie nie cylindrisch gefunden haben. Todd bemerkt von dem Rochen am Vorgebirge der guten Hoffnung, der jedoch eine andere Art zu seyn scheint, daß die Säulen, in ihrem ganz freien Zustande, die Gestalt von Cylindern annehmen, und die verschiedene Gestalt, welche sie bei einem horizontalen Durchschnitte zeigen, von ihrer ungleichen Verbindung unter einander durch die Netzsubstanz herrühre. Bei getrockneten Rochen erscheinen auf der abgezogenen Haut einwärts sechs- und fünfeckige Eindrücke, welche von den irregulären Maschen der Membranen, von denen jene Säulen nach außen überdeckt sind, herrühren, welche gegen die Haut gedrückt, jene Eindrücke zurücklassen, die der Haut gleichsam das Ansehn eines Bienenwases geben. Die Häute der Säulen sind sehr dünn, durchscheinend und genau mit einander zusammenhängend, vermittelt eines lockern Netzgewebes von sehnigten Fasern, die der Quere nach und schief zwischen den Säulen laufen.

Jede Säule ist durch horizontal liegende Theilungen (*partitions*) oder Scheidewände getheilt, welche in geringer Entfernung über einander liegen, und eine Menge Zwischenräume oder Fächer bilden, welche, wie schon RÉAUMÜR genau bemerkt hat, eine dickliche gallerteiweißartige Flüssigkeit enthalten, die durch das Kochen noch dicker wie eine Art Kleister wird. Die Scheidewände bestehen aus sehr dünnen und durchsichtigen Membranen, ihre Ränder sind unter einander verbunden, und alle hängen mittelst eines feinen zelligen Gewebes an den innern Seiten der Säulen, außerdem hängen sie noch mit einander durch feine Blutgefäße, die von der einen zur andern gehen, zusammen. Eine, einen Zoll lange, Säule eines Krampfrochens, den man in Weingeist aufbewahrt hatte, enthielt nach genauer Zählung hundert und funfzig solcher Theilungen, und diese Zahl scheint sich bei gleicher Länge der Säulen gleich zu bleiben, der Fisch mag so groß seyn, als er wolle, nur muß er in dem gleichen Zustande von Feuchtigkeit seyn, daher wird wahrscheinlicherweise, so wie die Säulen mit dem Thiere, wenn es älter und größer wird, an Länge zunehmen, der Zwischenraum zwischen je zwei Theilungen verhältnißmäßig nicht größer, sondern es bilden sich vielmehr neue Theilungen, die von den Häuten aus, welche die elektrischen Organe oben und unten bedecken, hinzukommen. Mit jener Angabe HUNTER's von einer so außerordentlichen Anzahl von Theilungen stimmt indefs

RÉAUMÜR'S Angabe, der in der ganzen Länge einer Säule nur 25 bis 30 Theilungen wahrgenommen haben will, nicht gut überein, wobei es zweifelhaft bleibt, ob vielleicht neben den feinem Theilungen noch gewisse gröbere, mehr in die Augen fallende, vorkommen, so daß auf jeden Haupttheil wieder 20 bis 30 Unterabtheilungen kommen würden. Diese Theilungen sind voller Gefäße, die Arterien sind Aeste von denjenigen Gefäßen der Kiemen, welche das schon durch das Athemholen veränderte Blut fortleiten; sie gehen sammt den Nerven in die elektrischen Organe, wo sie sich an den Seiten der Säulen nach jeder Richtung in unzählige kleinere Aeste verbreiten, und bei jeder Theilung rings um die Säule herum und in selbige hineingehen und mit den benachbarten Aestchen anastomosiren, die Venen kommen in genauer Verbindung mit den Nerven heraus, und laufen zwischen den Kiemen und dem Herzrohre fort.

Die *Nerven*, die sich in jedes elektrische Organ einpflanzen, entspringen in drei großen Stämmen von dem Seiten- und hintern Theile des Gehirns. Diese Nerven geben nur einige kleine Zweige an die Kiemen, an denen sie vorbeigehen, ab; der vordere Hauptstamm senkt sich in den vordern, der mittlere in den mittleren, der hintere mit seinen zwei Aesten in den mehr hintern Theil. Sie sind dem *N. Vagus* der vollkommeneren Thiere zu vergleichen. Wenn die Nerven in das Organ selbst eingebracht sind, theilen sie sich nach jeder Richtung zwischen den Säulen, drängen an jeder Theilung mit kleinen Zweigen in diese hinein und verlieren sich so auf den Scheidewänden. Die Stärke und Menge der Nerven, welche die el. Organe nach Verhältniß ihrer Größe erhalten, muß, wie HUNTER treffend bemerkt, eben so erstaunlich vorkommen, als die Erscheinungen, die sie hervorbringen. Die Nerven sind den Theilen des Körpers entweder zur Empfindung oder Bewegung gegeben. Mit Ausnahme der höheren Sinne ist auch beim vollkommensten Thiere kein Theil, welcher im Verhältniß seiner Größe so reichlich mit Nerven versehen wäre, und doch dienen die elektrischen Organe auf keine Weise als eigentliches Empfindungsorgan. Was aber die Bewegung anbelangt, so giebt es keinen Theil eines Thiers, der, so stark und anhaltend auch seine Bewegungen seyn mögen, eine so große Menge Nerven besäße. Man kann daraus mit größerer Wahrscheinlichkeit schließen, daß die Nerven eine besondere Beziehung auf die eigen-

thümlichen (elektrischen) Wirkungen der elektrischen Organe haben möchten.

Der sogenannte *Zitteraal*, dessen erschütternde (elektrische) Kraft diejenige des Zitterrochens noch weit übertrifft, hat auch verhältnißmäßig mehr ausgedehnte elektrische Organe, wofür man wenigstens allen Grund hat, diejenigen, welche den größten Theil des Schwanzes dieses Fisches ausmachen, nach ihrer Aehnlichkeit mit dem elektrischen Organe des Zitterrochens, und nach dem Umstande, daß die elektrischen Erschütterungen vorzüglich von dem Schwanze ausgehen, anzunehmen. Wirklich ist auch derjenige Theil des Körpers, welcher diejenigen Organe enthält, die der Zitteraal mit den Fischen seines Geschlechtes gemein hat, beträchtlich kleiner, als der Schwanz, welcher die elektrische Kraft besitzt, und 0,75 der ganzen Länge des Thiers ausmacht, die nach v. HUMBOLDT bisweilen 6 Fuß erreichen soll, bei denjenigen Thieren, die HUNTER beschrieb, jedoch nur etwas über 2 Fuß betrug, und von dem die elektrischen Organe selbst wieder beinahe die Hälfte und somit mehr als $\frac{1}{3}$ des ganzen Thiers betragen. Es sind deren zwei Paare, ein größeres oberhalb und ein kleineres unter demselben gelagert. Jenes macht die Hauptdicke des Schwanzes aus und erstreckt sich vom Leibe bis zum Ende des Letztern; jedes einzelne dieses oberen größeren Paares ist am breitesten nach vorn, wo es sich gleichsam am meisten seitwärts ausdehnt, wird nach hinten schmaler, und endigt sich fast in eine Spitze. Die beiden Organe, die dieses Paar bilden, sind oberwärts durch die Rückenmuskeln von einander getrennt, welche ihre oberen Ränder in einer beträchtlichen Entfernung von einander halten, unter diesen und gegen die Mitte zu sind sie durch die Schwimmblase von einander geschieden, und an ihrem untern Theile durch eine membranöse Scheidewand. Das kleinere Organ liegt längs dem untern Rande, und hat beinahe dieselbe Ausdehnung in der Länge wie das größere Organ. Das vordere Ende jedes einzelnen Organs (die beide zusammen das kleinere Paar bilden) beginnt beinahe in gleicher Linie mit dem größeren, gerade da, wo die lange Schwanzflosse des Thiers ihren Anfang nimmt, und endigt nahe am Ende des Schwanzes, wo auch das größere aufhört. Es hat eine dreieckige Figur gemäß den Theilen, in welchen es liegt. Sein vorderes Ende ist das schmalste; dann wird es breiter, in der Mitte ist es am dicksten und von da an wird

es dünner, bis es am Ende in eine Spitze ausläuft. Die beiden kleineren Organe sind von einander durch die mittleren Muskeln getrennt, und durch die Beine, in welchen die Gräten der Flossen artikulirt sind. Das grössere (breitere) und kleinere Organ auf jeder Seite sind durch eine Membrane von einander geschieden, deren innerer Rand an der Mitteltheilung befestigt ist, und der äufsere sich in die Haut des Thiers verliert. Um das grössere Organ ansichtig zu machen, ist nichts weiter nöthig, als die Haut zu entfernen, welche durch ein lockeres Zellgewebe daran hängt. Um aber das kleinere Organ darzulegen, ist erforderlich, die lange Reihe von kleinen Muskeln zu entfernen, welche die Flosse bewegen.

Die Structur dieser Organe ist sehr einfach und regelmässig; sie bestehen aus zwei Theilen, nämlich den flachen Theilungen (*partitions*) oder Wänden (*septa*) und den zwischen ihnen quer übergehenden Theilungen (*cross divisions*). Die äusseren Ränder von jenen Wänden sehen auswendig aus wie Linien, die fast parallel mit der Länge des Thiers gehen. Diese Wände sind dünne, beinahe parallel mit einander laufende Häute. Sie gehen der Länge nach mit der Längsaxe des Thiers fast in einer Richtung und ihre Breite kommt beinahe mit dem halben Durchmesser seines Körpers an jeder Stelle überein. Sie sind von verschiedener Länge, einige von ihnen sind fast so lang als das ganze Organ. An dem vordern Ende des Organs nehmen sie ihren Anfang, einige wenige ausgenommen, welche an dem obern Rande desselben beginnen, sie gehen zusammen hinterwärts, und endigen sich allmählig an der untern Fläche des Organs, und diejenigen, welche am weitesten unterwärts anfangen, zuerst. Ihre Breite ist ebenfalls an verschiedenen Stellen des Organs verschieden. Am breitesten sind sie gemeiniglich nicht weit von ihrem vordern Ende. Hier sind sie nämlich so breit als der dickste Theil des Organs, nach dem Schwanze zu werden sie immer schmaler, jedoch auch ganz vorne, wo sie anfangen, sind sie sehr schmal. Diejenigen, welche den Rückenmuskeln am nächsten liegen, sind am breitesten, weil sie sich nach der Lage dieser Muskeln heraufwärts krümmen, nach unten zu werden sie aber allmählig schmaler. Dieses rührt größtentheils davon her, weil sie mehr schief gehen, auch das Organ an dieser Stelle schmaler wird. Sie haben einen äußern und innern Rand. Der äufsere hängt an der Haut des Thieres, an

den Seitenmuskeln der Flossfedern, und an der Membrane, welche das große Organ von dem kleinen trennt, ihre inneren Ränder aber sind alle an der mittleren Theilung, auch an der Schwimmblase fest, und drei oder vier endigen sich an der Fläche, welche die Rückenmuskeln begrenzt. Diese Wände sind an ihren äußern Rändern, nahe an der Haut, an der sie festhängen, am weitesten von einander entfernt; so wie sie aber von der Haut nach ihrer inneren Befestigung hingehen, kommen sie wieder näher zusammen; ja man findet bisweilen zwei in eine vereinigt. Es ist schon bemerkt, daß sie an der Seite, wo die Rückenmuskeln liegen, von einem Rande nach dem andern heraufwärts gekrümmt sind, indem sie sich nach der Gestalt dieser Muskeln richten; allein dieses findet nach der Mitte des Organs zu (von oben nach unten genommen) immer weniger statt; und von hier nach dem untern Theile des Organs krümmen sie sich nach der entgegengesetzten Richtung. Am vordern Theile des großen Organs, wo es fast gleiche Breite hat, gehen sie mit einander ganz parallel (nämlich in Beziehung auf die Längendimension) folglich auch ganz gerade fort; wo aber das Organ schmaler wird, da siehet man sie sich an einigen Stellen vereinigen, besonders da, wo ein Nerv quer durchgeht. Das Ende dieses Organs am Schwanze ist so schmal, daß HUNTER (von welchem diese Beschreibung wörtlich entlehnt ist) nicht bestimmen konnte, ob es aus einer oder mehreren Wänden bestehe. Der Abstand dieser Wände von einander ist wahrscheinlich nach der Größe der Fische verschieden. Bei einem Fische, welcher zwei Fuß und vier Zoll lang war, fand HUNTER, daß sie $\frac{1}{7}$ Zoll von einander entfernt waren, und die Breite des ganzen Organs (richtiger die Höhe) betrug da, wo es am breitesten war, etwa 1,25 Zoll, und in diesem Raume fanden sich vier und dreißig Wände.

Das kleinere Organ hat eben solche Wände, welche in der Länge von dem einen Ende zum andern und in der Breite gerade quer übergehen; sie laufen etwas schlangenförmig nicht in geraden Linien. Ihre äußern Ränder endigen sich an der äußern Seite des Organs, welche an die innere Seite der Muskeln der Flossfeder stößt, und ihre inneren Ränder kommen mit den Muskeln in der Mitte in Berührung. Der Breite nach sind sie sehr verschieden, die breiteste kommt mit der einen Seite des Triangels, den das Organ hier bildet, überein, und die schmal-

ste ist kaum breiter wie die Spitze oder der Winkel desselben. Sie stehen fast gleich weit von einander ab, aber sie sind weit näher beisammen, als die Wände des großen Organs, denn ihre Entfernung von einander beträgt etwa $\frac{1}{5}$ Zoll. Nach dem Schwanze zu liegen sie aber weiter von einander, so wie das Organ selbst sich erweitert. Das Organ selbst ist etwa einen halben Zoll breit (hoch) und hat vierzehn Wände. An beiden Organen sind diese Wände sehr zart, und lassen sich leicht zerreißen; sie scheinen mit den Säulen des Zitterrochens einerlei Bestimmung zu haben, indem sie den Unterabtheilungen gleichsam zur Befestigung und Unterstützung dienen, und man kann sie als eben so viele besondere Organe ansehen. Diese Wände werden durch dünne Häute in die Quere durchschnitten, deren Breite sich immer nach der Entfernung richtet, in welcher zwei Wände von einander abstehen; mithin ist sie an verschiedenen Stellen verschieden. Am breitesten sind sie an dem Rande, welcher der Haut, und am schmalsten an dem, welcher der mittleren Theilung, die beide Organe von einander trennt, am nächsten ist. Ihre Länge kommt ganz mit der Breite der Wände, zwischen denen sie liegen, überein. Zwischen zweien solchen Wänden gehen sie immer in einer ordentlichen Reihe fort, von einem Ende desselben bis zum andern, und liegen so nahe an einander, daß sie sich fast zu berühren scheinen. Innerhalb des Raumes eines Zolles in der Länge zählt man gegen 240, mithin machen sie im Ganzen eine sehr große Fläche aus.

Diese Organe sind mit Nerven aus dem Rückenmarke versehen, und diese kommen paarweise zwischen den Rückgratswirbeln heraus. Sie versorgen auf ihrem Fortgange sowohl die Muskeln als die Haut, und verlieren sich in sehr feinen Verzweigungen in den el. Organen. In Rücksicht auf ihre verhältnißmäßige Größe gilt dasselbe, wie beim Zitterrochen, nur daß sie bei diesem relativ noch ansehnlicher sind. Viel einfacher als bei diesen beiden Arten ist der Bau des elektrischen Organs bei dem *Zitterwels* nach GEOFFROY'S Untersuchung. Es umgiebt nämlich hier den ganzen Körper, liegt unmittelbar unter der Haut und ist aus einer beträchtlichen Schicht Zellgewebe gebildet, welches so fest und dicht ist, daß man es auf den ersten Blick für eine Lage Speck halten könnte. Betrachtet man es aber genauer, so sieht man, daß dieses Organ aus wirkli-

chen sehnichten oder aponevrotischen Fasern besteht, die sich überall durchkreuzen und so ein Netz bilden, dessen Geflechte man nur durch eine Loupe deutlich sehen kann. Die kleinen Zellen oder Maschen dieses Netzes sind mit einer eiweiß- und gallertartigen Flüssigkeit ausgefüllt. Mit den inneren Theilen können sie in keiner Verbindung stehen, da eine sehr starke Sehnenhaut sich über das ganze elektrische Organ ausbreitet, und demselben so fest anhängt, daß man sie nicht davon trennen kann, ohne sie zu zerreißen. Uebrigens hängt diese Sehnenhaut mit den Muskeln nur durch wenig lockeres Zellgewebe zusammen. Die Nerven, welche zu diesem Organe gehen, kommen aus dem Gehirne und sind dieselben, die nach CÜVIER bei allen Fischen unmittelbar unter die Seitenlinie gehen, und analog den Nerven des achten Paares (*N. Vagus*) bei den höheren Thieren. Im Zitterwelse haben aber diese beiden Nerven des achten Paares einen eigenthümlichen Verlauf und eine ausgezeichnete Dicks. Sie nähern sich einander bei ihrem Austritte aus dem Hirnschädel, und steigen zum Körper des ersten Wirbelbeins zurück, durch welches sie hindurchgehen. Sie dringen jeder durch eine eigene Oeffnung in ihn ein, und gehen dann beide auf der entgegengesetzten Seite durch eine gemeinschaftliche Oeffnung heraus, entfernen sich plötzlich und gehen unter die Seitenlinie hinab, dann laufen sie zwischen den Bauchmuskeln und der sehnigten Membrane, die sich über das elektrische Netz ausbreitet, hin, und dringen endlich bis unter die Haut mittelst großer Aeste, die rechts und links vom Stamme des Nerven abgehen. An jeder Seite sind 12 bis 15 solcher Aeste, welche die Sehnenhaut durchbohren, bis sie mitten in das netzartige Gewebe hineindringen, und sich durch dasselbe verbreiten.

So verschieden diese elektrischen Organe auch dem äußern Anblicke nach erscheinen, so haben sie doch in vieler Hinsicht Aehnlichkeit und im Wesentlichen eine gleichartige Structur. Die el. Fische sind die einzigen, bei denen man so ausgedehnte und so viele Sehnenhäute antrifft, zu Zellen gebildet, in welchen sich eine eigenthümliche eiweiß- gallertartige Flüssigkeit befindet, und zu welchen ansehnlichere Nerven wie zu irgend einem andern Organe gehen. Insbesondere ist bei den beiden ersten Arten noch eine merkwürdige Regelmäßigkeit in der Anordnung der Zellen auffallend, vermöge welcher sie

einigermaßen eine Vergleichung mit einer Volta'schen Säule zu lassen, eine Aehnlichkeit, die jedoch in der dritten Art weniger bestimmt nachzuweisen ist, und auf welche ich in den theoretischen Betrachtungen wieder zurückkommen werde.

- Fig. 51. Zur Versinnlichung der elektrischen Organe sowohl des Zitterrochens als des Zitteraals möge die Abbildung eines Durchschnit-tes der el. Organe dieser beiden Fische dienen, welche aus den beiden musterhaften Abhandlungen von JOHN HUNTER¹ entlehnt sind. Die Figur stellt einen Querschnitt in der größten Dicke des Schwanzes des Zitteraals dar: gg die beiden größten elektrischen Organe, wo die feinen Striche die zahlreichen Unterabtheilungen jeder Hauptabtheilung sichtlich machen, pp die beiden kleineren elektrischen Organe, v die Schwimmblase, mmm Längensmuskeln, n die Wirbelsäule, d die äußere Oberfläche der Haut von der einen Seite, c die Afterflosse. Die Fig. 52. andere Figur bezeichnet einen senkrechten Schnitt des Zitterrochens hinter den Einathmungsöffnungen; AA die Oberfläche des Fisches, BB die Muskeln des Rückens, wie sie durch den Schnitt eingetheilt sind, C das Rückenmark, D der Oesophagus, E die linke Kieme zerschnitten, um den Verlauf eines Nervenstammes durch dieselbe darzulegen; F die athmende Oberfläche der rechten Kieme, GG die Flossen, HH die senkrechten Säulen oder Prismen, welche das elektrische Organ ausmachen mit einer Darstellung ihrer horizontalen Theilungen, I einen von den Nervenstämmen mit seinen Verzweigungen.

III. Wirkungen, welche von den elektrischen Organen abhängen. Elektrischer Charakter derselben.

Wir wollen die Wirkungen, die von jedem der beiden elektrischen Fische, über die allein genauere Erfahrungen in dieser Hinsicht gemacht worden sind, besonders betrachten, da sie bei allem Gemeinschaftlichen doch wieder in Absicht der Stärke, Art und der bedingenden und begleitenden Umstände manches Eigenthümliche haben.

Was zuerst die *Empfindungen* betrifft, die der Zitterrochen erregt, so werden sie von den verschiedenen Beobachtern et-

¹ Vgl. Phil. Tr. LXV. 407. und LXIII. 489.

was verschieden angegeben, was nicht zu verwundern ist, da Empfindungen, die sich auf das Gemeingefühl beziehen, überhaupt schwer zu beschreiben sind. In dieser Hinsicht wird die Angabe derjenigen Beobachter interessant, denen die elektrischen Erschütterungen noch nicht bekannt waren, und die daher auch ohne vorgefasste Idee einer Aehnlichkeit mit diesen sie auffassten. RÉAUMÜR beschreibt die ihm erregte Empfindung als eine Betäubung (*engourdissement*), die sich plötzlich seines ganzen Armes und der Hand bis zur Schulter bemächtigte, selbst den Kopf etwas ergriff, aber von einer gewöhnlichen Betäubung, namentlich von jener, welche man das *Einschlafen* der Glieder nennt, ganz verschieden gewesen sey, begleitet von einem starken, jedoch dumpfen Schmerze, wie wenn die Finger einen plötzlichen Schlag erhalten hätten, als eine Empfindung, die unter den ihm damals bekannten mit derjenigen noch am meisten Aehnlichkeit habe, die man erleidet, wenn man sich mit dem Elbogen etwas stark an einen harten Körper gestoßen hat. Seit WALSH hat man die Schläge mit elektrischen Erschütterungen verglichen, namentlich WALSH selbst mit derjenigen einer schwach geladenen Leidner Flasche, und an einem andern Orte bemerkt er, daß schnell auf einander folgende kleine Leidner Schläge dieselbe Betäubung oder Erstarrung, wie der Zitterrochen, bewirke. GAY-LÜSSAC und HUMBOLDT äußern sich dahin, daß die Empfindung derjenigen des Entladungsschlages einer Leidner Flasche zwar gewissermaßen analog, aber doch wesentlich von ihr verschieden sey, durchdringender, convulsivischer, schmerzhafter, und wenn der Fisch schon kraftlos sey, dem Gefühle des Sehnenhüpfens ähnlich¹. An einem andern Orte findet HUMBOLDT eine besondere Aehnlichkeit der Empfindung, die der Zitterroche verursacht, und der schwächeren Schläge des Zitteraals mit jenem schmerzhaften Erbeben (*frémissement*), von dem er bei jedesmaliger Berührung einer Zink- und Kupferplatte unter einander, die an Wunden applicirt waren, die er sich auf dem Rücken durch Blasenpflaster gemacht hatte, ergriffen wurde. CONFIGLIACHI endlich² findet die Empfindung in den Händen und Armen bei gleichzeitiger Berührung des Bauchs und Rückens des Fisches ganz überein-

1 G. XII. 3.

2 a. a. O. S. 654.

stimmend mit derjenigen, welche eine mit Kochsalz aufgebaute Volta'sche Säule von 30 Platten-Paaren und darüber ertheilt. Ein alter und ziemlich großer Zitterrochen zu Genua wirkte auf GARDINI¹ so stark, daß er ihn nicht nur zu Boden warf, sondern auch in seinen Gliedern eine größere Erstarrung und lange Zeit fortdauernden beschwerlichen dumpfen Schmerz zurückliefs, als ihm je elektrische Erschütterungen von einer Leidner Flasche verursacht hatten.

Die Stärke der Erschütterung oder Betäubung hängt indess sehr von der verschiedenen Art ab, wie man mit dem Fische in Verbindung kommt, so wie von der Stärke des Fisches selbst. Was das Erstere betrifft, so sind vorzüglich diejenigen Umstände zu berücksichtigen, welche auf die besondere Rolle der elektrischen Organe bei Ertheilung der Erschütterungen hinweisen. WALSH² hat zu scharf als wesentlich nothwendige Bedingung zur Erhaltung der Erschütterung aufgestellt, daß zwischen der oberen und unteren Fläche eines oder beider Organe eine Verbindung (*intercourse*) sey, und daß keine Erschütterung durch eine isolirte Person erhalten werde, wenn diese die Organe nur oben oder unten berühre. Diesem widersprechen die späteren Beobachtungen namentlich die von SPALLANZANI, GAY-LÜSSAC und HUMBOLDT. Ersterer bemerkt ausdrücklich, daß wenn er isolirt war, und der in der Luft befindliche Fisch nur an einer einzigen Fläche mit der Hand berührt wurde, er einen, jedoch nur schwachen, Schlag erhielt, womit auch GAY-LÜSSAC und HUMBOLDT übereinstimmen. Berührt man bei einem isolirten Fische zugleich beide Organe an der oberen Fläche z. B. mit zwei Fingern an den gleichen Stellen, so empfindet man den Schlag von jedem elektrischen Organe besonders, bisweilen aber auch nur von einem, und zwar geht in diesem Falle die Empfindung nicht über den Finger hinaus. Indess muß diese einseitige Berührung stets an dem Organe selbst oder wenigstens ganz in ihrer Nähe statt finden, denn faßt man z. B. in der Luft den Fisch am Schwanze an, so erhält man nie eine Erschütterung; wie schon RÉAUMÜR bemerkt hat; auch bekam TODD nie einen Schlag, wenn er den Fisch an den Enden der Seitenflossen hielt. Doch sind sie nach den übereinstimmenden

1 De electrici ignis natura. Mantua 1792. §. 71.

2 a. a. O. 472.

Erfahrungen aller Beobachter, namentlich GAY-LÜSSAC's und v. HUMBOLDT's stets am stärksten, wenn man beide Organe oder auch nur eines an der obern und untern Fläche zugleich berührt, und der Schlag ist in dem Verhältnisse stärker, in welchem die Berührungsfläche gröfser ist, stärker also, wenn man die el. Organe mit der flachen Hand, als wenn man sie mit den blofsen Fingerspitzen berührt. Indefs ist der Schlag in diesem Falle nicht in beiden Händen gleich stark, sondern immer stärker in derjenigen, welche den Rücken berührt, und SPALLANZANI will sogar gewöhnlich in derjenigen Hand, welche den Bauch berührte, keinen Schlag empfunden haben. Er bemerkt auch, dafs er bei der Berührung nur der einen Fläche, wenn er den Fisch an der Brust stach, keinen so starken Schlag erhalten habe, als wenn er den Rücken reizte. Doch bemerkt er an einem andern Orte, dafs, als er einmal mit der Hand die untere Fläche rieb, indem er die obere zugleich berührte, nur jene mit Ausschluss von dieser den Schlag erhalten habe. In allen Fällen, wenn beide Hände bei einer solchen Berührung einen Schlag erhalten, ist er gleichzeitig. Auch CONFIGLIACHI bemerkte eine Verschiedenheit der Empfindung, je nachdem er mit der Hand am Bauche oder am Rücken schlofs, ganz ähnlich derjenigen, wenn man bei einer Volta'schen Säule am negativen oder positiven Ende schliesst, was also gleichfalls die stärkere Empfindung auf die Seite des Rückens hinweist.

Allezeit sind die Schläge stärker, wenn man es nicht bei der blofsen Berührung bewenden läfst, sondern die Haut des Fisches auf irgend eine Weise reizt, durch Drücken (doch will INGENHOUSZ bei mehr oder weniger starkem Drucke seiner Finger keine Veränderung in der Stärke der Schläge bemerkt haben), Reiben, am sichersten aber durch Stechen. Auf diese Art zählte SPALLANZANI 23 Schläge in einer Minute, wovon der letzte eben so stark als der erste war. Dasselbe bemerkt auch INGENHOUSZ, und sogar dafs, wenn die Schläge schnell auf einander folgten, sie statt schwächer zu werden, vielmehr stärker wurden, es mochte das Thier sich im Wasser oder in der Luft befinden. WALSH erhielt in einer Minute 100 Schläge, indem der Rochen zwischen beiden Händen gehalten, abwechselnd aus der Luft unter Wasser bis auf einen Schuh untergetaucht und wieder emporgehoben wurde, und zwar die stärksten jedesmal in dem Augenblicke, da der Fisch bei diesem

Auf- und Abwärtsbewegen die Oberfläche des Wassers berührte und wieder aus demselben auftauchte.

Unmittelbarer auf die elektrische Natur des hierbei statt habenden Vorganges deuten folgende Verhältnisse. Die Schläge sind in der Luft unter übrigens gleichen Umständen um vieles stärker als unter dem Wasser, nach WALSH wohl viermal stärker. Unmittelbare Berührung des Fisches ist nicht nöthig, um die Erschütterungen zu erhalten. Schon RÉAUMÜR bemerkte, daß, als er den Fisch mit seinem Stocke berührte, er eine, wenn gleich viel schwächere Erschütterung empfand. WALSH führt an, daß als ein Zitterrochen in einem Korbe mit einem Netze oberwärts bedeckt, drei Zolle unter der Oberfläche des Wassers gehalten wurde, bei der Berührung desselben mit einem kurzen, halb unter dem Wasser halb über demselben befindlichen, eisernen Bolzen, wenn man diesen mit der einen Hand anfaßte, während die andere in einiger Entfernung vom Fische unter das Wasser getaucht war, starke Schläge in beiden Händen empfunden wurden. Ja, wenn an diesem Bolzen nur ein feuchter hanfener Strick befestigt, und in der Hand über dem Wasser gehalten wurde, erhielt WALSH Schläge. Auch SPALLANZANI bestätigt die Beobachtung einer Mittheilung der Erschütterungen bei mittelbarer Berührung des Fisches durch einen andern Körper, doch mußte derselbe ein Leiter der Elektrizität seyn, aber es war auch in diesem Falle die Erschütterung stets schwächer als bei unmittelbarer Berührung. Schon nasses Tuch oder ein nasses Netz leiteten den Schlag, der jedoch, wenn diese Körper trocken waren, verhindert wurde. WALSH berichteten die Fischer, daß beim Fischfange sie oft schon in einer Tiefe von 12 Fuß durch die Erschütterungen, die sie erhielten, die Anwesenheit des Zitterrochens im Netze erkennen. Wurde die Oberfläche der elektrischen Organe mit Baumöl bestrichen, so wurde der Schlag nach SPALLANZANI dennoch durchgeleitet. Damit läßt sich die Beobachtung GAY-LÜSSAC's und HUMBOLDT's immer noch vereinigen, daß bei der Berührung mit den besten metallischen Leitern keine Erschütterung erhalten werde. Dieses gilt nämlich nur für den Fall, wenn bloß eine einseitige Communication mit dem Fische statt findet und dieser oder der Mensch übrigens isolirt ist, denn in den Versuchen von WALSH mit dem eisernen Bolzen fand ein wirklicher Leitungskreis durch die Hände und das Wasser von der

obern zur untern Fläche statt. Wenn daher GAY-LÜSSAC und v. HUMBOLDT den Zitterrochen mit der untern Fläche der elektrischen Organe auf eine metallene Schüssel legten, so empfanden sie, wenn sie die Schüssel in der Hand hielten, nie einen Schlag, selbst wenn eine andere Person, die isolirt war, den Fisch reizte, und die convulsivischen Bewegungen der Brustflossen die stärksten Entladungen des el. Fluidums anzeigten. Berührte dagegen derjenige, welcher die Schüssel hielt, mit der andern Hand die obere Seite der el. Organe, so fühlte er in beiden Armen zugleich einen heftigen Schlag. Dasselbe war der Fall, wenn der Fisch zwischen zwei metallenen Schüsseln lag, deren Ränder sich nirgends berührten, und man dann an beide die Hände brachte. Berührten sich aber die beiden Schüsseln in irgend einem Punkte, so fühlte man nichts. Hier war also der eine metallische Entladungskreis vollkommen hinreichend zur vollständigen Entladung, gerade so wie die Hand, welche den metallenen Auslader hält, durch welchen man die beiden Belegungen einer geladenen Leidner Flasche mit einander in Verbindung bringt, bei der Entladung nichts empfindet. Indefs kann doch auch beim Rochen, wie bei einer Leidner Flasche, die Entladung durch mehrere Canäle zugleich geleitet werden, wenn jeder einzelne Entladungskreis aus unvollkommenen Leitern besteht, wo dann aber die Erschütterung in demselben Verhältnisse mit der Menge solcher Kreise für die Einzelnen geschwächt wird. Nach WALSH bekamen vier Personen, die auf einmal einen Zitterrochen anrührten, gleichzeitig Schläge, doch jeder einzelne nur schwach. Bemerkenswerth ist noch bei der Mittheilung der Erschütterung durch Zwischenleiter, daß das Wasser für sich allein diesen Dienst zu leisten nicht im Stande ist. GAY-LÜSSAC und HUMBOLDT bemerken ausdrücklich, daß so lebhaftere Erschütterungen man auch unter dem Wasser erhält, doch die unmittelbare Berührung der Organe wenigstens an einer Stelle (oder nach WALSH wohl auch mit einem sonstigen guten Leiter) erforderlich sey, und daß die Wirkung nie erfolge, wenn auch eine noch so dünne Wasserschicht den sich nahenden Finger von dem Organe trenne. Da jedoch der viel stärkere Zitteraal auch unter dieser Bedingung Schläge ertheilen kann, so ließe sich wohl auch für sehr kräftige Zitterrochen das Gegentheil davon voraussagen, und die Bedingung kann also nur als eine relative angesehen werden.

Die Erschütterung kann in mehreren Personen zugleich her- vorgebracht werden, wenn sie auch nicht unmittelbar den Fisch berühren, sondern nur einen leitenden Kreis bilden, dessen äußerste Glieder mit den Organen des Fisches in unmittelbarer Berührung sind. Dieser Versuch nun war es vorzüglich, der die *elektrische* Natur dieses Vorganges am meisten ins Licht stellte, und den wir zuerst in seiner ganzen Reinheit und mit der bestimmten Vergleichung mit dem gleichen Verhalten bei der Entladung einer Leidner Flasche JOHN WALSH verdanken. Dieser interessante Versuch wurde zum erstenmal vor den Mit- gliedern der Akademie zu Rochelle den 22. Juli 1772 unter fol- genden Umständen angestellt. Ein lebender Zitterrochen lag auf einem Tische. Um einen andern Tisch herum standen fünf Personen isolirt. Zwei messingene Drähte, jeder 13 Fuß lang, waren durch seidene Fäden an der Decke des Zimmers aufge- hängt. Einer der Drähte ruhte mit dem einen Ende auf dem nassen Teiche, auf welchem der Fisch lag, das andere tauchte in ein mit Wasser gefülltes Becken, das mit vier andern solchen Becken auf dem andern Tische stand. Die erste Person steckte den Finger der einen Hand in das Becken, in welches der Draht eingetaucht war, und den Finger der andern Hand in das nächst- folgende Becken. Auf gleiche Weise steckten die übrigen Per- sonen ihre Finger in die übrigen Becken, so daß sie alle durch das Wasser in den Becken mit einander in Verbindung standen, in das letzte Becken war das eine Ende des andern Messing- drahtes eingetaucht, und mit dem andern Ende berührte WALSH den Rücken des Fisches, und in demselben Augenblicke fühlten also fünf Personen eine Erschütterung, die nur an Stärke von derjenigen einer Leidner Flasche abwich. WALSH, der sich selbst nicht in dem Erschütterungskreise befand, erhielt auch kei- nen Stofs. Derselbe Versuch wurde auch mit 8 Personen wie- derholt. Sobald dieser Kreis durch Nichtleiter der Elektrizität, wie Glas, Siegellack u. d. gl., womit eine der Personen in das Wasser eintauchte, unterbrochen wurde, so blieb auch die Er- schütterung aus. Ein gleicher Versuch wurde auch von SPAL- LANZANI desgleichen von GAY-LÜSSAC und v. HUMBOLDT mit demselben Erfolge wiederholt.

Bei dieser vollkommenen Uebereinstimmung mit dem Leid- ner Versuche war nun zu erwarten, daß man auch einen wirk- lichen el. Funken bei dem Durchgange des el. Fluidums durch

diesen Kreis erhalten würde, wenn man irgendwo eine Unterbrechung anbrächte, die nicht zu groß wäre, um den Durchbruch der Elektrizität zu verhindern. WALSH machte aber in dieser Hinsicht vergebliche Versuche, denn auch die kleinste Trennung, welche in einem auf Siegellack geklebten und zur Leitung dienenden Streifen Stanniol durch einen höchst feinen Schnitt mit dem Messer angebracht war, hinderte die Entladung. Eben so wenig konnten andere Naturforscher wie SPALLANZANI, GAY-LÜSSAC und HUMBOLDT und CONFIGLIACHI den kleinsten Funken hervorlocken. Letzterer erwähnt zwar eine Empfindung von Licht oder vorübergehenden Schein¹, welche der Zitterrochen gewährte, es ist aber nach dem ganzen Zusammenhange hierunter nur jene subjective Lichtempfindung zu verstehen, welche sowohl einfache Ketten als Volta'sche Säulen, wenn ihr el. Strom durch das Auge selbst oder demselben nahe liegende Theile geleitet wird, hervorbringen, eine übrigens höchst interessante Beobachtung, wobei man nur zu bedauern hat, daß CONFIGLIACHI nicht die näheren Umstände seines dabei befolgten Verfahrens angegeben hat. Nur der einzige GARDINI will bei dem oben erwähnten Zitterrochen, der auf einem Isolirbreite lag, indem er ihm jene heftige Erschütterung ertheilte, einen wirklichen Funken gesehen, und das ihn begleitende Knistern gehört haben, und mit ihm auch die andern Anwesenden. Es ist indefs nicht näher angegeben, an welcher Stelle der Funke zum Vorschein kam, und welche Vorrichtungen gemacht wurden, um ihn wahrnehmen zu können, und so bleibt diese isolirt dastehende Beobachtung höchst problematisch. Diese auch durch die kleinste Unterbrechung des Leitungskreises durch einen Nichtleiter schon eintretende Hemmung des Durchganges des hierbei thätigen el. Fluidums stimmt auch mit einem Versuche GAY-LÜSSAC's und v. HUMBOLDT's überein, welchem zufolge auch die Lichtflamme die Durchleitung der Erschütterung unterbricht, wenn z. B. zwei Personen, die zwischen ihren rechten Händen den Zitterrochen hielten, statt sich die linke Hand zu geben, zwei Metallstäbe in eine Lichtflamme steckten. Dagegen wurde die Erschütterung sogleich empfunden, wenn unter denselben Umständen die Stäbe nur in einen Wassertropfen eingetaucht waren. Auch anderweitige unzweifelhafte

1 a. a. O. S. 654.

Erscheinungen von Elektricität und namentlich von freier Spannung, von el. Polen u. s. w. haben bis jetzt auf keine Weise beim Zitterrochen wahrgenommen werden können, namentlich keine Anziehungen oder Abstofsungen auch nicht der leichtesten Körperchen, keine Wirkung auf die empfindlichsten Elektrometer, auch nicht mit Hülfe der besten Condensatoren, keine Ladung von Flaschen oder Batterien, in welcher Hinsicht schon die frühern Versuche von WALSH, INGENHOUSZ und SPALLANZANI einen negativen Ausschlag gaben, die neuesten Versuche GAY-LÜSSAC's und HUMBOLDT's, vorzüglich aber CONFIGLIACHI's ganz entscheidend sind. Letzterer hat sich besonders bemüht, die Elektricität in dem Augenblicke, wo der Fisch die Erschütterung mittheilt, im Condensator aufzusammeln, indem er richtig bemerkt, daß die el. Organe im gewöhnlichen Zustande des Fisches ohne freie Elektricität sind, und die Elektricität erst in dem Augenblicke, wo der Fisch durch irgend einen besondern Mechanismus diese Organe in Thätigkeit setzt, dargeboten werde. Er veranlafte daher den Zitterrochen durch Stechen, Reizen und Drücken zu Entladungen, aber auch in diesem Falle zeigte der Condensator keine Spur von ihm mitgetheilte Elektricität.

Nach allem diesen ist es daher nur durch ein gänzlichcs Mißverstehen gewisser Aeußerungen der oft citirten Schriftsteller begreiflich, wenn KÜHN¹ anführt, der Krampfrochen besitze nach WALSH zwei Oberflächen, welche sich wie bei der Leidner Flasche in dem Zustande entgegengesetzter Elektricitäten befinden, sein Rücken habe $+E$ und sein Bauch $-E$, ferner es ziehe dieser Fisch leichte Körper an und stofse sie wieder zurück, auch könne man einen el. Funken bei ihm wahrnehmen, welche Entdeckung WALSH gleichfalls bei dem Krampfrochen gemacht habe, in welcher letzteren Hinsicht das Octoberstück des Journal de Physique vom Jahre 1776 citirt wird, wo jedoch nicht von einem Funken des *Zitterrochens*, sondern des *Zitteraals* die Rede ist. RITTER hat sich ohne Zweifel durch KÜHN, dessen Schrift er citirt, gleichfalls verführen lassen, den gleichen Irrthum zu wiederholen, wenn er sagt: WALSH sah den Krampfrochen leichte Körperchen anziehen und abstofsen, und fand, daß sein Rücken $+E$ und sein Bauch $-E$

¹ Geschichte der medicinischen und physischen Elektricität 1785. II. 40. 41.

habe. WALSH hat aber in der That nichts von alle dem beobachtet, sondern nur nach gewissen Analogieen des Verhaltens der beiden Oberflächen der el. Organe des Zitterrochens mit den Belegungen einer Leidner Flasche als Hypothese aufgestellt, daß sie in einem gleichen entgegengesetzten el. Zustande sich befinden möchten. Nur der einzige BERTHOLLET führt an ¹: „daß eine an einem seidenen Faden hängende Kugel ihm zwischen zwei eisernen Drähten, die mit dem Rücken und Bauche des Fisches communicirten, hin und her zu spielen geschienen habe;“ aber nur während der Zeit der Entladung des Fisches, ein höchst feiner und schwieriger Versuch, wie er hinzufügt, auch redet er von mehreren sonstigen mit dem Zitterrochen von ihm angestellten Versuchen, von denen er in einem andern Werke handeln werde. Da er indess nichts weiter davon bekannt gemacht, auch zu dem an ihn gerichteten Aufsätze HUMBOLDT's und GAY LÜSSAC's, in welchem alle Anziehungen und Abstofsungen leichter Körperchen durch den Krampfrochen geleugnet werden, keine weitere Anmerkung hinzugefügt hat, so ist nicht zu bezweifeln, daß er selbst in seine frühere Beobachtung kein Vertrauen mehr gesetzt habe.

Die Erfahrung GALVANI's, daß, wenn man präparirte Froschschenkel so wie auch Froschherzen auf den Rücken eines Zitterrochens legt, in dem Augenblicke, daß dieser die Erschütterung mittheilt, jene in Zuckungen gerathen, ist noch das einzige einigermassen hieher gehörige weitere Zeichen von der el. Natur des hierbei thätigen Princip, und um desto mehr, da auch darin eine vollkommene Uebereinstimmung mit dem Verhalten der gewöhnlichen E. statt findet, daß durch jene Entladung eben so wie bei einem gewöhnlichen el. Funken oder einem schwachen el. Strome die Muskeln im Augenblicke der Entladung (nämlich der Mittheilung der Erschütterung), das Herz dagegen erst einige Augenblicke nachher, und bei schwächeren Entladungen, so wie durch einen schwächeren el. Strom nur die willkürlichen Muskeln, das Herz dagegen nicht in Bewegung gesetzt werden.

Zum Schlusse dieser, die el. Natur des Vorganges betreffenden, Verhandlungen bemerke ich noch, daß ohne Zweifel,

¹ De l'Électricité du Corps humain dans l'état de santé et de maladie. Tome I. Paris 1786. 8. p. 173.

(wie auch RITTER¹ vorgeschlagen hat) die einzige sichere Methode, Zeichen von freier el. Spannung zu erhalten, darin bestehen würde, den Zitterrochen sich in el. Batterien von großer Capacität entladen zu lassen, indem man seinen Bauch in eine gute leitende Verbindung mit der äußern Belegung, und die innere Belegung durch einen Draht in eine nur augenblickliche oder wenigstens schnell vorübergehende Berührung mit dem Rücken brächte, indem man den Fisch zu gleicher Zeit zur Ertheilung des Schlags reizte. Ohne Zweifel würde die Batterie dann zu einer wahrscheinlich höchst schwachen Spannung geladen werden, die man durch Hülfe des Condensators merklich machen könnte.

Bei der Ertheilung der Erschütterungen verhält sich der Fisch auf keine Weise bloß passiv, so daß er gleichsam in seinen el. Organen nur eine geladene el. Batterie oder Volta'sche Säule darstellte, die man beliebig entladen könnte, sondern er ist auf eine sehr auffallende Weise activ, und dieses leitet uns noch zur Betrachtung des Verhältnisses, in welchem diese Erscheinungen mit der Willkür des Thiers und mit seiner Lebenskraft überhaupt stehen.

Man erhält vom Zitterrochen nicht immer einen Schlag, wenn man ihn berührt, selbst nicht wenn man ihn mit beiden Händen am Rücken und Bauche zugleich anfasset, wie kraftvoll er auch sey. Man muß ihn reizen, damit er den Schlag ertheile, und diese Wirkung hängt ganz von seiner Willkür ab. Darin stimmen alle Beobachter mit einander überein, von RÉAUMÜR an, der auf eine sehr unterhaltende Weise erzählt, wie er von seinem Zitterrochen getäuscht worden sey, so daß er an ihm verzweifelte, daß er Schläge ertheilen könne, da er ihn längere Zeit unter dem Wasser auf allerhand Weise mit seinen Händen manipulirt habe, ohne etwas zu empfinden, dann aber plötzlich einen äußerst heftigen Schlag erhielt, bis zu den neuesten Beobachtern GAY-LÜSSAC, v. HUMBOLDT und TODD, welcher letztere noch bemerkt, daß sonst lebhafte Zitterrochen selbst eine starke Reizung erleiden konnten, ohne einen Schlag zu ertheilen. Auch konnten sich die Fische, wenn man sie in den Händen hielt, mit sichtbarer Anstrengung ihrer Muskelthätigkeit drehen und wenden, und wenn sie sich auch nicht

1 a. a. O. S. 649.

losmachen konnten, doch einen Schlag geben. Dieses willkürliche Entladen der el. Organe deutet unmittelbar darauf hin, daß der Fisch durch einen Act seiner Willkür und die dabei thätige Lebenskraft in den el. Organen irgend eine Veränderung hervorbringe, wodurch sie augenblicklich erst geladen, oder wenn auch vorher geladen doch nur durch einen besonderen Mechanismus entladen werden. Ueber die einer solchen Entladung vorangehenden oder dieselbe begleitenden anderweitigen sichtbaren Veränderungen in den verschiedenen Theilen des Körpers, die hierüber weiteren Aufschluß geben konnten, findet indess keine vollkommene Uebereinstimmung unter den Schriftstellern statt. RÉAUMÜR will beobachtet haben, daß jedesmal, so oft der Rochen den Schlag ertheile, er den natürlich etwas gewölbten Rücken platt und selbst etwas concav mache, und daß er in diesem Augenblick den Schlag ertheile, wobei dann der Rücken, ohne daß man dieses Zurückkehren selbst beobachten könne, seine vorige convexe Oberfläche wieder angenommen habe. Diese wichtige Beobachtung ist leider von den späteren Forschern gar nicht berücksichtigt, und in sofern auch nicht bestätigt worden, indess verdient sie bei dem bekannten feinen Beobachtungsgeiste RÉAUMÜR's doch auch jetzt noch alle Beachtung. WALSH wollte jedesmal bei Ertheilung des Schlags ein Zurückziehen der Augen, und außerdem noch eine leichte vorübergehende Agitation in den Knorpeln, von welchen die el. Organe umgeben sind, beobachtet haben. SPALLANZINI fand jene Bewegung der Augen so wenig constant, daß sie ihm zufolge meist unbeweglich blieben, und manchmal sogar hervortraten; auch anderweitige Bewegungen des Körpers konnte er nicht bemerken, dagegen wollen GAY-LÜSSAC und v. HUMBOLDT bemerkt haben, daß der Zitterrochen die Brustflossen convulsivisch bewegte, so oft er seinen Schlag gab, wodurch im Grunde RÉAUMÜR's frühere Beobachtung bestätigt wird, indem nach TODD's Bemerkung durch jede stärkere Bewegung des halbmondförmigen Knorpels der Brustflossen das el. Organ zusammengedrückt werden müsse, auch ein Muskelapparat die vordere Seite dieser Knorpel mit einem Fortsatze an der Vorderseite der Hirnschale verbinde, wodurch die Thätigkeit der el. Organe befördert zu werden scheine. Nach TODD war die el. Entladung im Allgemeinen von einer Muskelanstrengung begleitet. Dieses zeigte sich deutlich durch das Anschwellen der

obern Fläche der el. Organe, vorzüglich an der vordern, dem Schädel gegenüberstehenden Seite, und das Zurückziehen der Augen, woraus TODD, wenn ein anderer den Fisch hielt, mit ziemlicher Sicherheit das Eintreten der Explosion voraussagen konnte; doch täuschte er sich bisweilen, indem er selbst Schläge erhielt (zumal wenn das Thier schon geschwächt war) ohne die Muskelthätigkeit voraus bemerkt zu haben.

Das Thier, das willkürlich die Schläge ertheilt, kann mit bewunderungswürdiger Schnelligkeit seine Organe stets wieder von neuem laden, da es im Stande ist, eine lange Reihe von Schlägen mit gleicher Stärke zu ertheilen. Die Stärke der Schläge steht im Allgemeinen in geradem Verhältnisse mit der übrigen Kräftigkeit und Lebendigkeit des Rochens, doch können auch schwächere Thiere durch stärkere Reizung zur Ertheilung sehr starker Schläge gebracht werden. Die Schläge nehmen einen andern Charakter an, wenn der Fisch sehr schwach wird und sein Tod herannaht. Kurze Zeit vor demselben ertheilte er nach SPALLANZANI's Beobachtung nicht mehr in Zwischenräumen Schläge, sondern ununterbrochen auf einander folgende leichtere Schläge, ähnlich solchen, die man erhalten würde, wenn man ein klopfendes Herz zwischen seinen Fingern hielte, nur verbunden mit einer unangenehmen Empfindung, die jedoch sich nicht über die Finger hinaus erstreckte. Dieses dauerte 7 Minuten, während welcher Zeit SPALLANZANI 316 solcher leichter Schläge empfand, worauf dann wieder einzelne in längeren Zwischenräumen 2 bis 3 Minuten bis zum gänzlichen Tode erfolgten. Eine gleiche Beobachtung machte auch TODD mit der Bemerkung, daß die zuletzt unwillkürlich so schnell auf einander folgenden Entladungen (gleich dem Schnenhüpfen der Sterbenden) ein bloßes Prickeln in ihm hervorbrachte. Auch in dem vom Thiere abgesonderten Organe bemerkte SPALLANZANI schwache Stöße, wenn er aber die Haut von dem oberen Theile des Organs abzog, so verloren sie sich fast gänzlich. Wenn er starken lebhaften Rochen ihre Organe ausriß, so hörten die Stöße sogleich auf, und unter dem Druck der Hand auf dieselben fühlte man bloß eine schwache zitternde Bewegung, die sich endlich in eine leise Palpitation verwandelte. Die Thiere lebten indess fort, gaben aber keine Erschütterung mehr, oft auch dann nicht, wenn nur eines dieser Organe von ihnen getrennt war, doch fand hiervon zuweilen auch das Gegentheil statt.

Dafs die Einwirkung der Lebenskraft und insbesondere der Willkür auf die Ertheilung der Erschütterungen und folglich auf den hierbei zum Grunde liegenden el. Vorgang durch die zu den Organen gehenden Nerven wesentlich vermittelt werde, konnte schon zum voraus aus der ungemeynen Gröfse derselben vermuthet werden, ist aber durch directe Versuche aufser allen Zweifel gesetzt. Schon SPALLANZANI fand, dafs wenn blofs die drei Nerven des el. Organs durchschnitten werden, die Erschütterungen sogleich aufhören, und nur die oben erwähnte zitternde Bewegung übrig bleibt. Dasselbe bewiesen noch deutlicher die von GALVANI angestellten Versuche. Nach abgeschnittenem Kopfe ertheilten beide Organe keine weitere Erschütterungen. Wurde dagegen das Herz ausgerissen, so verlor das Thier nicht das Vermögen, Erschütterungen zu ertheilen. Das Durchschneiden oder ein starker Druck auf die zu dem el. Organe gehenden Nerven hob dagegen dieses Vermögen gänzlich auf, wenn gleich das Thier sonst kräftiges Leben zeigte. TODD fand gleichfalls in wiederholten Versuchen, dafs nach Durchschneidung der zu den el. Organen gehenden Nerven alles Vermögen Erschütterungen zu geben verschwunden war, ungeachtet das Thier an sonstiger Lebendigkeit gar nichts verloren hatte, ja, was besonders entscheidend für die Abhängigkeit dieser Schläge von der Lebenskraft des Thieres ist, länger kräftig blieb, und unter denselben Umständen länger fortlebte, als andere Individuen, an denen jene Operation nicht vorgenommen war, denen man aber durch Berührung und Reizung häufige Schläge entlockte, wodurch sie sichtlich geschwächt und ihr Tod beschleunigt wurde. War nur ein einzelner Nervenast, oder hatte man nur die Nerven auf der einen Seite durchschnitten, so dauerte das Vermögen, el. Schläge zu ertheilen, wie es schien, ungeschwächt fort. Es wurde ein Draht durch das Gehirn eines sehr lebhaften Zitterrochens geführt, darauf hörte alle Bewegung auf, und keine Reizung konnte die el. Schläge erregen.

Alles was bis jetzt vom Zitterrochen angeführt worden ist, gilt auf gleiche Weise auch vom Zitteraal, nur mit der Verschiedenheit, welche die viel ausgedehnteren el. Organe und die davon abhängige gröfsere Energie seiner el. Kraft mit sich bringt. Bei ihm sind die Schläge noch weit mehr den starken Erschütterungen einer Leidner Flasche oder Batterie zu vergleichen. Die der gröfseren Zitteraale (welche eine Länge bis 6 Fufs erreichen)

sind so heftig, daß sie nach v. HUMBOLDT's ¹ Zeugniss selbst in wenigen Minuten Pferde zu tödten im Stande sind. Der Aal längs dem Bauche des Pferdes hingleitend, trifft alle edleren Theile, und besonders die großen Nervengeflechte im Bauche. Das betäubte Pferd stürzt zu Boden und erstickt, weil es zu lange in seiner Lethargie unter dem Wasser verweilt. Ein junger Neger, der einen solchen Aal anfaßte, soll nach FLAGG gelähmt worden seyn und BRYANT fühlte die Erschütterung nicht bloß durch Hände und Arme, sondern durch den ganzen Leib und am meisten in der Stirne und in dem Dickbeine. FAHLBERG vergleicht die Stärke der Erschütterung unter dem Wasser mit derjenigen einer Leidner Flasche von 70 Quadratzoll Belegung, die auf 10 bis 15 Grad nach ADAMS's Quadranten-Elektrometer geladen ist, und in der Luft mit einer noch einmal so starken.

Man kann hiernach auch erwarten, daß der Wirkungskreis des Zitteraals viel ausgedehnter als derjenige des Torpedo ist, und daß die el. Entladung noch da durchbricht, wo die des Zitterrochens aufgehalten wird. Wirklich ist beim Zitteraale unmittelbare Berührung nach WILLIAMSON und FAHLBERG nicht nöthig, sondern der Schlag wird schon empfunden, wenn man sich demselben mit der Hand unter dem Wasser nur nähert. Dieses zeigt sich besonders auch, wenn der Aal die kleinen Fische, die ihm zur Nahrung dienen, durch el. Schläge, die er ihnen theilt, vorher betäubt, wobei er sich ihnen nähert, aber schon aus der Ferne auf sie den verderblichen Schlag losschießt, dessen Stärke er nach einem ihm eigenthümlichen nie täuschenden Gefühle, wie FAHLENBERG bemerkt, nach der Entfernung und also der Dicke der Wasserschicht jedesmal richtig abmisst. WILLIAMSON empfand lebhaftere Erschütterungen, wenn er seine Hand, ohne den Aal zu berühren, zwischen diesen und die kleinen Fische hielt, auf welche der Aal aus einer Entfernung von 10 bis 15 Fuß seine Schläge losschleuderte, und sie dadurch vollkommen betäubte. Es wird durch diese Erfahrung v. HUMBOLDT's Behauptung widerlegt, daß auch beim Zitteraal wie beim Zitterrochen unmittelbare Berührung nöthig sey und auch die kleinste Wasserschicht die Mittheilung des Schlages hindere.

¹ Jagd und Kampf der elektrischen Aale mit Pferden in G. XXV. 84.

Auch beim Zitteraal ist eine gewisse Beziehung auf zwei Pole oder Stellen, von welchen die Kraft vorzüglich ausgeht, und welche, wie wir weiter unten sehen werden, als entgegengesetzt el. zu betrachten sind, nicht ganz zu verkennen, wenn gleich nicht so deutlich bezeichnet. Diese Pole beziehen sich aber hier nicht wie beim Rochen auf den Rücken und Bauch, sondern, wie sich auch schon nach der Analogie der Structur ergeben würde, auf das Vorder- oder Kopf- und auf das Schwanz-Ende. Wurde nach FAHLENBERG der Fisch nur mit einer Hand berührt, so gab er einen Schlag, welcher der Wirkung des in einer Flasche nach der ersten Entladung noch vorhandenen Residuums gleich kam. Die Empfindung war etwas stärker, wenn man mit der einen Hand den Fisch an dem Halse, und mit der andern am Schwanze faßte. Dasselbe fand auch WILLIAMSON, der den Unterschied zwischen der Empfindung in beiden Fällen noch viel auffallender angiebt, indem ihm zufolge die Berührung mit einer einzigen Hand nur die Empfindung eines einfachen el. Funkens verursachte. Auch v. HUMBOLDT bemerkt, daß, wenn die Schläge des Zitteraals schwächer und mehr gleichförmig wurden, wie bei verwundeten Thieren, wo man die Unterschiede an Stärke der Schläge nach Verschiedenheit der Umstände leichter unterscheiden kann, er jedesmal stärkere Schläge erhalten habe, wenn er den Fisch mit zwei Händen (also doch auch mit der einen näher am Kopfe, mit der andern näher am Schwanze), als wenn er ihn nur mit einer einzigen Hand berührt habe, stärker auch wenn statt mit der Hand mit einem Metalle, und zwar stärker bei der Bewaffnung der Hand mit Zink als mit Kupfer. Auf eine besonders auffallende Art gelangen aber bei diesem Fische die Versuche über die durch eine ganze Reihe von Personen durchgeleitete Erschütterung, wenn diese sich einander mit nassen Händen anfaßten, oder durch Leiter der Elektrizität mit einander verbunden waren, während die beiden äußersten der Reihe den Fisch unmittelbar oder auch nur mittelbar berührten. Schon J. WALSH trieb diese Versuche so weit, daß der Schlag durch 27 Personen geleitet wurde, WILLIAMSON durch eine Reihe von 8 bis 10 Personen, wo die Erschütterung gleichfalls am stärksten war, wenn von den beiden äußersten Personen die eine den Fisch am Schwanze, die andere am Kopfe berührte, FAHLENBERG fand die Erschütterung am stärksten, wenn der Fisch von denen an den beiden Enden

der geschlossenen Kette stehenden Personen mit einem silbernen oder messingenen Leiter an den Brustflossen berührt wurde, am schwächsten dagegen, wenn nur die eine von diesen den Fisch, die andere das Wasser berührte. Wie stark die el. Kraft des Zitteraals und wie ausgedehnt der Wirkungskreis derselben sey, ergibt sich besonders aus einer Beobachtung FLAGG's, dafs, als einmal der Aal aus dem Wassergefäße gekommen war, und er ihn mit einem Stücke Tannenholz von 18 Zoll Länge aufzuheben versuchte, er doch so starke und wiederholte Schläge erhielt, dafs der Schmerz davon im Arme längere Zeit nicht wieder vergehen wollte, noch mehr aber aus der merkwürdigen Beobachtung WILLIAMSON's, dafs, als ein feines Loch in das hölzerne Gefäfs, in welchem sich der Fisch befand, gebohrt wurde, eine Person in ihrem Finger, welcher sich in dem Strome des ausfließenden Wassers befand, einen Schlag verspürte in dem Augenblicke, dafs eine andere Person, mit welcher jene nicht in Verbindung stand, den Schlag von dem Fische, der dazu gereizt wurde, erhielt. Bei dem Zitteraale ist bei Anstellung dieser Versuche *zuerst* der el. Funke wahrgenommen worden, und zwar von JOHN WALSH, nachdem schon WILLIAMSON zwar keine Funken bemerkt, aber sich doch überzeugt hatte, dafs die Erschütterung noch durchgeleitet wurde, wenn die Enden zweier Messingdrähte nur um 0,01 eines Zolles von einander standen. Ueber den Versuch von WALSH findet sich, wie schon oben bemerkt ist, keine Mittheilung von ihm selbst, sondern wir haben nur Angaben von andern Physikern, die Augenzeugen des Versuchs gewesen waren, und die versichern, die Erschütterung des Zitteraals sey von einem so sichtbaren Funken begleitet gewesen, als die Entladung einer Leidner Flasche. Später hat FAHLENBERG die Beobachtung von WALSH vollkommen bestätigt. Befand sich der Fisch unter Wasser, so konnte er keinen Funken erhalten. Nachdem aber der Fisch aus dem Wasser genommen war, so wurde das el. Licht sichtbar, als durch die Hände zweier Personen oder durch andere Leiter beide Enden eines auf Glas befestigten und durch einen kleinen Zwischenraum unterbrochenen Staniolstreifens mit dem Fische in Berührung gebracht waren. Dagegen soll nach v. HUMBOLDT die Lichtflamme die Fortleitung des Schlags des Zitteraals isoliren. Auch ist es sehr bemerkenswerth, dafs nach FLAGG's Beobachtung ein Frauenzimmer von etwas schwindsüchtiger Beschaffenheit den

Zitteraal berühren und behandeln konnte, ohne einen Schlag dadurch zu empfinden, gerade so wie man einzelne Fälle von Unempfindlichkeit für den Schlag einer Leidner Flasche beobachtet haben will. Trotz dieser Beweise einer so starken el. Kraft konnte man doch auch beim Zitteraal bis jetzt keine Spur freier el. Spannung, keine Anziehung oder Abstofsung leichter Körperchen durch dieselbe, keine Wirkung aufs Elektrometer selbst nicht mit Hülfe des Condensators, keine Ladung einer Leidner Flasche auch nur zum schwächsten noch durch Hülfe dieser Instrumente bemerkbaren Grade erhalten.

Auch für den Zitteraal gilt es, dafs die Ertheilung der Erschütterungen ein Act der Willkür ist, und dafs sein el. Vermögen in dem innigsten Zusammenhange mit der Lebenskraft steht. Der Zitteraal ertheilt seine Schläge und richtet die Stärke derselben ganz nach den Umständen ein, um seinen Zweck zu erreichen. Ja er scheint selbst nach JOHN WALSH und den späteren Beobachtungen von FAHLENBERG einen eigenen feinen Sinn für das Verhältnifs der Umstände zur Möglichkeit der Ertheilung der Schläge zu besitzen, ob nämlich die Körper, die sich ihm nähern, solche sind, die den Stofs empfangen können, d. i. Leiter oder Isolatoren, denn in dem ersten Falle ertheilt er den Stofs, in dem zweiten nicht. Diese merkwürdige Eigenschaft zu zeigen stellte WALSH mehre Versuche an, von denen der überzeugendste folgender war. Zwei Drähte wurden mit ihren Enden in ein Gefäß mit Wasser gelegt, in dem der Fisch sich befand, sodann umbogen, und eine große Strecke fortgeführt, endlich endigten sie sich in zwei besondere mit Wasser gefüllte Gefäße. Die Drähte wurden in einer beträchtlichen Entfernung von einander durch Nichtleiter getragen. So lange die beiden Wassergefäße nicht durch einen Leiter mit einander verbunden waren, war der Leitungskreis nicht vollkommen, was aber eintrat, sobald eine Person die Finger der einen Hand in das eine, und die der andern Hand in das andere Gefäß tauchte. Nun bemerkte man beständig, dafs das Thier, wenn die oben beschriebene Verbindung unterbrochen war, den Enden der Drähte sich nie absichtlich näherte, sobald aber die Verbindung durch eine Person oder sonst durch einen Leiter wieder hergestellt wurde, so kam das Thier augenblicklich zu den Drähten heran, und ertheilte den Stofs, wenn es gleich nicht sehen konnte, dafs die Verbindung wieder ergänzt worden war. Die-

ser letztere Umstand des Heranschwimmens an die Drahtenden beweiset, daß die Ertheilung des Schläges hier nicht nach einem bloßen physischen Gesetze auf eine nothwendige Weise erfolgen mußte, sondern daß die Willkür des Thiers daran Theil hatte, was zugleich eine Empfindung des veränderten Leitungsverhältnisses durch eine ganz eigenthümliche Modification des Gefühls voraussetzt. Die Ertheilung der Schläge durch den Zitteraal ist übrigens unabhängig von jeder anderweitigen sichtbaren Muskelbewegung; auch sind die stärksten Muskelbewegungen des Gymnotus eben nicht von erschütternden Explosionen begleitet. v. HUMBOLDT hatte den Zitteraal oft in Händen gehabt, und indem er sich convulsivisch krümmte, um sich ihm zu entwinden, fühlte er keine Entladung. Dasselbe Individuum gab wenige Minuten darauf die heftigsten Schläge, ohne die äußere Lage seines Körpers zu verändern¹. So wie beim Zitterrochen nimmt auch beim Zitteraal mit herannahendem Tode die Stärke der Schläge ab, und aus dem Organe des toten Fisches liefs sich nach FAHLENBERG auf keine Weise auch nur die geringste el. Erschütterung entlocken.

DR. SCHILLING, Arzt der Colonie zu Surinam, hatte, wie schon oben bemerkt, der Berliner Akademie der Wissenschaften Nachrichten von einigen Versuchen gegeben, welche auf ein *besonderes magnetisches Verhältniß* des Zitteraals, und daher eine Uebereinstimmung ihres Agens mit dem magnetischen hinzudeuten schienen. Bei der Annäherung eines armirten Magnets ward der Angabe SCHILLING's zufolge der Fisch zuerst unruhig, und bei der Berührung mit demselben stark erschüttert. Legte man den Magnet ins Wasser, so ward der Fisch nach einiger Zeit ganz still, und kam von selbst an den Magnet heran, als wenn er von dem umgebenden Wasser angezogen und zurückgehalten würde. Nach einer halben Stunde zog er sich sehr geschwächt vom Magnete wieder zurück, hatte aber alle Erschütterungskraft verloren, so daß man ihn ohne Schaden berühren und in die Hände nehmen konnte. Die beiden Pole des Magnetes schienen wie mit Feilspähnen überzogen (!). Der Fisch erlangte einige Kraft wieder, nachdem man ihn ein paar Tage mit Brod gefüttert hatte, als man aber Eisenfeilicht ins Wasser warf, kehrte sein voriges Vermögen in seiner ganzen

¹ G. XXII, 5.

Stärke zurück. Eine Magnetnadel sollte in der Nachbarschaft des Zitteraals völlig in Unordnung gekommen seyn. So viel Interesse diese Beobachtungen bei ihrer ersten Bekanntmachung auch einflößten, indem man namentlich hierin einen Hauptbeweis für die Uebereinstimmung der Elektricität mit dem Magnetismus zu erkennen glaubte, und so sehr in unsern Tagen nach der Entdeckung des Elektromagnetismus dieses Interesse sich erneuern mußte, so verloren sie doch in dieser Hinsicht allen Werth, da sie von späteren Beobachtern bei Wiederholung mit den besten Apparaten und mit der größten Sorgfalt als ganz unrichtig befunden wurden, so daß man kaum daran zweifeln kann, SCHILLING habe der gelehrten Welt etwas aufbinden wollen. Dr. INGENHOUSZ untersuchte namentlich die Sache in London 1777 an den Fischen, welche J. WALSH auf seine Kosten von Surinam hatte kommen lassen. Er ging in Gesellschaft des Dr. BEERENBROEK mit mehreren Magnetnadeln und starken Magnetstäben von KNIGHT versehen dahin, fand aber den Fisch gegen allen magnetischen Einfluß schlechterdings unempfindlich. Das Thier unterschied den Magnetstab nicht im geringsten von einem andern Stücke Metall, und gab einem Menschen, der beide Hände, eine beim Kopfe, die andere beim Schwanze des Fisches ins Wasser hielt, einen starken Schlag, obgleich ein starker Magnetstab untergehalten ward. Auch brachte er die Magnetnadel nicht im mindesten in Unordnung. WALSH versicherte gleichfalls, SCHILLING'S Versuche auf das sorgfältigste geprüft, aber nie einen Einfluß des Magnets auf den Fisch, oder dieses auf jenen bemerkt zu haben¹. Eben so wenig konnte v. HUMBOLDT in sehr oft wiederholten Versuchen die geringste Wirkung der Magnete auf den Zitteraal, oder des letzteren auf Magnetnadeln wahrnehmen, so wie dann auch Eisenfeilicht auf den Rücken desselben gestreut unbeweglich blieb². Auch auf den Zitterrochen äußerte nach SPALLANZANI'S Versuchen, ein starker Magnet, der 25 Pfund zog, nicht den geringsten Einfluß. Dagegen wäre wohl durch künftige Versuche auszumitteln, ob nicht in dem Augenblicke, daß der Zitteraal oder Zitterrochen seine Schläge ertheilt, eine in der Nähe

¹ INGENHOUSZ vermischte Schriften übersetzt von Molitor. Wien. S. 273.

² Ann. de Ch. XI. 435.

befindliche Magnethadel afficirt wird, und zwar nach denselben Gesetzen, nach denen der Strom der Volta'schen Säule dieselbe in Bewegung setzt.

Vom *Zitterwels* fehlen alle genauere Beobachtungen in Betreff der von ihm ertheilten Erschütterungen und nur ADANSON'S oben mitgetheilte Notitz, da sie sich ohne allen Zweifel auf diese Gattung bezieht, läßt annehmen, daß im wesentlichen sich hier alles eben so verhalten werde.

Von *Tetrodon electricus* hat man bloß die einzige Beobachtung des englischen Schifflieutenants PATTERSON, der zwei derselben in einem Netze fing, und da er den einen angreifen wollte, einen so heftigen el. Schlag bekam, daß er ihn loslassen mußte.

Vom *Trichiurus indicus* fehlen alle sein Erschütterungsvermögen betreffende Beobachtungen.

IV. Theoretische Betrachtungen.

So lange die el. Natur des Agens, von welchem die Erschütterungen dieser el. Fische abhängen, unbekannt war, konnten nur irrige Erklärungen des Vorganges gegeben werden. Die Meinungen jener Naturforscher, welche wie LORENZINI, PERRAULT u. a. gewisse betäubende Theilchen (*particulae torporificae*) annahmen, die zu allen Zeiten aus dem Körper des Zitterochens, aber in dem Zeitpunkte, wo er seine Erschütterung mittheilte, in größerer Menge ausströmten, wurden schon von RÉAUMÜR gründlich widerlegt, selbst durch die Hinweisung auf das einzige Factum, daß man keine Erschütterung fühle, wenn man auch nur durch eine dünne Wasserschicht von dem Fische getrennt sey, während diese Erschütterung doch bei der Berührung desselben mit einem Stocke mitgetheilt werde. RÉAUMÜR hatte geglaubt, in jener oben von ihm angeführten interessanten Beobachtung den Schlüssel zum ganzen Mechanismus, auf welchem jene so eigenthümlichen Erschütterungen beruhen, gefunden zu haben. Er vergleicht nämlich den ganzen Vorgang mit dem einer gespannten Feder, welche plötzlich losschnappe. Die Rolle der zu spannenden Feder wies er den Säulen oder Cylindern der el. Organe an, durch die Abplattung des Rückens sollen nämlich die Basen der Organe gleichsam breiter, die kleinen Zwischenlamellen der Cylinder ausgedehnt und gespannt

werden; hat diese Ausdehnung und damit gegebene Spannung ein gewisses Maximum erreicht, und die Zusammenziehung des Rückens, die durch den Fisch willkürlich hervorgebracht worden ist, läßt nach, so dehnen sich die Längenasern, aus denen die Seitenwände der Cylinder bestehen, wieder aus, die Querhäute verkürzen sich, und jede derselben, durch die Längenasern aufwärts gezogen, treibt die eiweißartige Materie, die in den Zellen enthalten ist, in gleicher Richtung aufwärts, und da diese Ausdehnung nicht gleichzeitig in allen geschehen kann, so entstehen dadurch schnell auf einander folgende Stöße, welche die Nerven erschüttern und betäuben und den eigenthümlichen Schmerz verursachen. So erklärt RÉAUMÜR, warum man die heftigen Schläge nur erhalte, wenn man die el. Organe unmittelbar berühre, warum man den Fisch ungestraft am Schwanz anfasen könne, womit sich auch sehr wohl die viel schwächere Erschütterung vereinigen lasse, die man erhalte, wenn man den Fisch in einiger Entfernung von diesen Organen anfasse, weil sich jene Bewegung derselben doch der Haut des Fisches mittheilen, und diese davon erschüttert werden müsse, welche Erschütterung sich dann weiter mittheile. Der Umstand, daß RÉAUMÜR eine, wenn gleich viel schwächere Erschütterung empfand, wenn er den Fisch mit einem Stocke berührte, machte ihn nicht irre in seiner Erklärung, da ja die schnelle Bewegung jener losschnappenden organischen Federn sich auch dem Stabe und durch diesen seiner Hand nur mit verhältnißmäßig verminderter Geschwindigkeit mittheilen müsse.

So sinnreich auch diese Erklärung auf dem damaligen Standpunkte der Untersuchung war, so mußte sie doch aufgegeben werden, sobald JOHN WALSH die wahre Ursache der Erschütterung in der Bewegung des el. Fluidums aufgefunden hatte. Indefs reichte diese allgemeine Andeutung doch nicht hin, sondern es kam zur Rechtfertigung derselben darauf an, die mannigfaltigen Abänderungen der Erscheinungen, vorzüglich der Stärke der Erschütterungen, nach der Verschiedenheit der Umstände mit den bekannten Gesetzen der Elektrizität in Uebereinstimmung zu bringen, und gewisse Widersprüche mit einer solchen Erklärung, insbesondere den Mangel gewisser Zeichen freier Elektrizität, aller Wirkung auf das Elektrometer, überhaupt aller el. Anziehungs- und Abstofsungs-Erscheinungen zu beseitigen. Dieses leistete nun besonders CAVENDISH auf eine un-

gemein scharfsinnige Art in jener oben angeführten Abhandlung, indem er durch eine Reihe von Versuchen zu beweisen suchte, daß von allen Erscheinungen am Zitterrochen befriedigende Rechenenschaft gegeben werden könne, wenn man annehme, daß seine el. Organe gleich einer el. Batterie von großer Capacität, die aber nur zu einer sehr schwachen Spannung geladen sey, wirkten. Dieser Ansicht zufolge stellte die eine Fläche der el. Organe gleichsam die eine Belegung und die entgegengesetzte die andere vor, oder es vereinigte sich wenigstens in ihnen im Augenblicke der Mittheilung der Erschütterung die ganze Wirkbarkeit, und ging von ihnen eben so aus, wie von den beiden Belegungen einer solchen Batterie. Indem CAVENDISH erst aus Holz und dann aus mit Salzwasser getränktem Sohlenleder einen künstlichen Zitterrochen sich fertigen ließ, der die Gestalt des natürlichen hatte, und an den Orten, wo die el. Organe an der obern und untern Fläche sich endigen, Zinnplatten ungefähr von gleicher Gestalt und Größe anbringen ließ, so konnte er diesen Flächen den Werth solcher Belegungen einer zu schwacher Spannung geladenen Batterie von großer Capacität geben, indem er durch Drähte, die von ihnen ausgingen, und die durch Glasröhren isolirt waren, sie mit den Belegungen einer wirklichen el. Batterie von der angeführten Art in Verbindung setzte, und die wirkliche Entladung der Batterie durch Verbindung jener Drähte mit ihren Belegungen vornahm, wenn er sich auf verschiedene Weise mit dem künstlichen Zitterrochen in Verbindung gesetzt hatte. Diese Versuche wurden theils in der Luft theils unter dem Wasser vorgenommen, und die verschiedene Stärke der Erschütterungen unter den verschiedenen Umständen der unmittelbaren oder mittelbaren Berührung, der einseitigen Berührung mit einer oder mit beiden Händen an der einen oder an beiden Flächen der el. Organe u. s. w. stimmte im Wesentlichen mit denjenigen Verschiedenheiten überein, die an dem Zitterrochen unter den gleichen verschiedenen Umständen wirklich wahrgenommen sind. Das Ganze findet nämlich seine Erklärung darin, daß, wenn die Verbindung zwischen den beiden Belegungen nicht durch einen vollkommenen Leiter gemacht wird, wie denn der Zitterrochen selbst und jene Kunstgebilde in CAVENDISH'S Versuchen kein solcher sind, der Entladungsstrom sich verbreitet und seinen Weg durch mehrere Canäle nimmt, unter welchen der menschliche Körper, die Hände

desselben u. s. w. wegen ihres vollkommenern Leitungsvermögens mehr aufnehmen, als das Wasser und die eigenen Theile des Thiers selbst.

Sehr genügend gab auch CAVENDISH durch diese Vergleichung Rechenschaft von dem Mangel eines Funkens bei dieser Ertheilung der Erschütterungen durch den Zitterrochen, von der Unmöglichkeit durch eine Kette von mehreren Gelenken die Erschütterung zu entladen, aus der so schwachen Spannung der Elektrizität bei aller großen Quantität derselben, da auch bei zu kleiner Spannung geladener Batterien von vielen Flaschen, die darum immer noch im Stande sind, bei unmittelbarer Berührung eine sehr fühlbare Erschütterung zu geben, durch den feinsten Schnitt in eine auf Glas geklebte Zinnfolie u. s. w. die Entladung gehindert werden konnte. Diese Ansicht fand auch den allgemeinsten Beifall und selbst nach der Entdeckung der Volta'schen Säule sind ihr einige Physiker, wie namentlich selbst v. HUMBOLDT noch getreu geblieben, welcher in der Unempfindlichkeit aller Elektrometer für die Einwirkung selbst der kraftvollsten el. Fische einen Beweis finden will, daß die Wirkungen in ihnen nicht wie in der Volta'schen Säule entstehen, und nicht aus der Theorie dieser erklärt werden können¹. v. HUMBOLDT übersah, daß sich eben so wenig eine geladene Leidner Flasche ohne freie el. Spannung wenigstens an der einen Belegung denken lasse, und daß die Unempfindlichkeit der Elektrometer keine größere Schwierigkeit bei der Erklärung nach den Gesetzen einer Volta'schen Säule mache. GÉOFFROY findet sogar in dem Baue der el. Organe, die ihrem Wesen nach aus sehr ausgebreiteten und vielen Sehnenhäuten bestehen, welche zu Zellen gebildet sind, und eine gallert-eiweiß-artige Flüssigkeit enthalten, einen neuen Beweis für diese Aehnlichkeit mit Batterien oder mit Blitzscheiben, indem sie abwechselnd aus Leitern (den Nerven, und der weichen aus Eiweiß und Gallerte bestehenden Masse, in die sich die Nerven verbreiten?), und aus Nichtleitern (den sehnigten Blättern, die sich durch diese weiche Masse hinziehen) zusammengesetzt sind. Daß die Elektrizität des Zitterrochens wesentlich von der mechanischen Anordnung dieser idioelektrischen und anelektrischen Elemente abhängt, zeige sich dadurch, daß man im ganzen dieselben Theile auch bei an-

deren Rochen finde, ohne daß doch letztere dieselben Wirkungen hervorzubringen vermögen, weil nämlich bei ihnen jene sehnigten Blätter fehlen, welche die gallert-eiweiß-artige Flüssigkeit in kleine isolirte Massen theilen, gerade so wie eine el. Batterie oder die Blitzscheibe ihren Zweck nicht erfüllen würde, wenn zwischen den Metallblättern keine Glasscheiben wären¹. Indefs sieht man leicht, daß dieses doch nur höchst vage Andeutungen sind, daß man auf keine Weise in dem Baue der el. Organe nachzuweisen im Stande ist, wie die respectiven, positiven und negativen Seiten der unzähligen kleinen Leidner Flaschen, die man in dem Organe anzunehmen gezwungen wäre, mit einander zu einer gemeinschaftlichen Belegung verbunden sind, und daß endlich jene sehnigten Häute, die mit Feuchtigkeit durchdrungen sind, auf keine Weise den Dienst zu leisten im Stande seyn würden, die entgegengesetzten Elektricitäten von einander getrennt zu halten, wenn sie nach dem Gesetze der Leidner Flasche vertheilt wären, wo sie nämlich als mit ihrem ganzen Streben durch die Scheidewand hindurch sich mit einander zu verbinden und auszugleichen, behaftet vorausgesetzt werden müßten. Der Natur sich viel näher anschließend erscheint daher die höchst sinnreiche Theorie VOLTA'S, welche dieser große Physiker gleich im ersten Anfange, als er seine Entdeckung der Säule den 20. März 1800 an BANKS mittheilte, aufstellte, in jenem so merkwürdigen Aufsätze, der von ihm im Nationalinstitute am 21. Nov. 1801 verlesen wurde², wiederholte, aber noch ausführlicher in der oben bereits erwähnten Abhandlung vortrug. Die Hauptidee dieser Erklärung ist, daß die el. Organe wahre elektrische oder Volta'sche Säulen und zwar von der zweiten Ordnung seyen, welche aus bloßen feuchten Leitern bestehen. Die Structur dieser Organe, wie sie sowohl beim Zitterrochen als beim Zitteraal, vorzüglich durch HUXTER so schön dargelegt worden ist, entspricht dieser Idee vollkommen. Nach der Analogie der Säule finden sich in beiderlei Organen regelmäsig abwechselnde Lagen von Leitern verschiedener Art, nämlich die Membranen, welche die Scheidungen bilden und die gallert-eiweiß-artige Flüssigkeit. Legt man nun das Schema der gewöhnlichen Volta'schen Säule zum

¹ G. XII. 412.

² G. X. 421. 445 — 449.

Grunde, welche aus einer sich in derselben Ordnung wiederholenden Reihe von wenigstens drei verschiedenen Leitern oder Erregern der Elektrizität besteht, die unter zwei verschiedene Spannungsreihen gehören¹, so muß angenommen werden, daß die sehnigten Zwischenhäute aus zwei Lagen bestehen, die das Analogon eines Paares von Metallen, vorstellen, und als die eigentlichen Elektromotoren anzusehen sind, während die gallerteiweißartige Flüssigkeit die Rolle des feuchten Leiters übernimmt. Dieses ist auch die Ansicht VOLTA'S, wenn er sagt: „Es ist selbst zu vermuthen, daß in den el. Organen des Krampffisches die kleinen Lagen oder Häutchen, die in jeder Säule eine über der andern liegen, abwechselnd aus Leitern bestehen, die zur zweiten und zur dritten Classe gehören, und so gebauet sind, daß jede Lage, oder jedes heterogene Paar der dritten Classe von dem andern durch einen Leiter zweiter Classe, d. i. durch eine feuchte Lage getrennt wird.“ Daß die festweichen thierischen Theile und die thierischen Flüssigkeiten nicht eine Spannungsreihe bilden, sondern unter zwei Classen gebracht werden müssen, für deren jede ein eigenes Spannungsgesetz gilt, erhellet schon daraus, daß es wirksame galvanische Ketten giebt, welche aus bloß thierischen Theilen bestehen, in welche kein Erreger der ersten Classe oder sogenannter trockener Erreger eingeht. Da aus allen oben angeführten Erscheinungen hervorgeht, daß an den el. Organen gewisse Stellen sich befinden, in welchen die Elektrizität mehr angehäuft ist, und ohne allen Zweifel einen Gegensatz bildet, so stimmt die Lage dieser Pole auch sehr wohl mit einer solchen Annahme überein, denn in dem Zitterrochen haben die vielen neben einander liegenden kleinen Volta'schen Säulen (die Cylinder oder Prismen der el. Organe) eine in Beziehung auf die Axe des Körpers verticale Lage, und ihre beiden Pole müssen also mit der Ober- und Unterseite (Rücken und Brust) des Fisches zusammenfallen, wie auch wirklich die Beobachtung lehrt, während beim Zitteraal die Säulen der Länge nach liegen, und folglich die Pole an das andere Ende (nach dem Kopf- und Schwanz-Ende hin) fallen müssen, was auch recht gut mit den Beobachtungen an diesem Fische zusammenstimmt. Bei der außerordentlichen Menge der abwechselnden Lagen läßt sich auch bei noch so geringem elektromotorischen Vermögen jedes einzelnen

1 S. die Artikel: *Galvanismus und Säule, Volta'sche.*

Elements doch eine sehr starke Ladung der el. Säulen und damit eine sehr starke Erschütterung bei der Entladung sehr wohl begreifen. Auch stimmt für diese Ansicht die große Uebereinstimmung der Erschütterungen selbst mit denen, welche Volta'sche Säulen ertheilen. Nach VOLTA's Briefe an BANKS¹ giebt eine Säule aus 20 Lagen Erschütterungsschläge, die denen eines äußerst ermatteten Krampfrochens völlig gleichen; aus einer Säule von 60 Lagen kann man stärkere Schläge erhalten, als sie der Krampffisch ertheilt, und so wie dieser heftigere Erschütterungen in der Luft als im Wasser ertheilt, sind auch die Schläge der Säule viel empfindlicher, wenn die Enddrähte in verschiedene Wasserbehälter geleitet, und diese durch den Körper in leitende Verbindung gesetzt werden, als wenn beide Enddrähte mit einem Wasserbehälter communiciren, und man in diesen beide Hände steckt. Ueberhaupt gilt für die Abänderungen der Stärke der Schläge nach der verschiedenen Art, wie man sich mit dem Krampfrochen in Verbindung setzt, alles unbedingt auch hier, was bei der Vergleichung der Entladungen der el. Fische mit denen einer Batterie von großer Capacität, die nur zu einer schwachen Spannung geladen ist, oben angeführt wurde, da eine Volta'sche Säule vollkommen das Aequivalent einer solchen ist, nur mit dem Unterschiede, daß sie sich selbst geladen hat, und nach der Entladung wieder von neuem ladet. Indes würde diese ganze Reduction auf eine Volta'sche Säule völlig ungenügend seyn, wenn nicht zugleich Rechenschaft von dem Einflusse der Willkür, und daß die Entladungen lediglich von dieser abhängen, gegeben werden könnte, denn es ist bei Vergleichung aller oben angeführten Erscheinungen von selbst einleuchtend, daß die el. Organe keine an und für sich geladene und nach jeder Entladung sich wieder durch ihren bloßen Mechanismus ladende Säulen seyn können, weil man sonst durch jedesmalige Berührung in einer hinlänglich großen Oberfläche stets Erschütterungen erhalten müßte, und durch Communication der Pole der Organe mit einem Condensator oder einer Batterie diese geladen werden, und elektromotorische Wirkungen zum Vorschein kommen müßten, wovon sich aber gerade das Gegentheil zeigt. Vielmehr müssen erst in dem Augenblicke, in welchem die Fische ihre Erschütterungen mittheilen, die Säulen

1 Phil. Trans. 1800. II. 403.

len geladen und zugleich auch entladen werden, und die freige-wordene Elektrizität jedesmal auch wieder im Producte aufgehen, weswegen sie eben so wenig auf das Elektrometer und den Condensator wirken kann, als die bei der Entladung einer Flasche durch den Entladungskreis sich ergießende Elektrizität darauf wirkt. Aber auch dafür hat VOLTA Rath gewußt. Ihm scheint nämlich der Mechanismus, durch welchen der Krampfrothen Schläge ertheilt, darauf zu beruhen, daß er einige von einander entfernte Theile seines el. Organs (entweder einzelne Stellen, oder vielleicht die Häute, welche in jeder Säule wie dünne Scheiben über einander liegen) einander nähert, indem er die Säulen zusammendrückt, oder daß er vielleicht im Augenblicke des Stoßes zwischen die Häutchen und Zwischenränder eine Feuchtigkeit fließen läßt. Die erstere Annahme würde nun allerdings sehr gut mit der oben näher beschriebenen Réaumur'schen Beobachtung des Verhaltens des Fisches bei Ertheilung der Schläge übereinstimmen, indess widerspricht dieser Erklärung die Erfahrung CONFIGLIACHI's, daß auch bei äußerer Zusammendrückung der el. Organe durch Gewichte keine Erschütterungen bewirkt werden können, und was die zweite Annahme betrifft, so steht ihr die Thatsache entgegen, daß in einem organischen Körper überall keine solche leere Stellen angenommen werden können, und daß die Stellen der Prismen zu allen Zeiten mit der gallerteiweißartigen Flüssigkeit vollkommen erfüllt erscheinen. Auch giebt diese Erklärung keine hinreichende Rechenschaft von der wichtigen und constanten Beziehung, in welcher die Nerven mit den el. Organen und ihrer Thätigkeit stehen, denn daß dieser Einfluß sich nicht bloß darauf beschränken könne, zur Bildung einer jener Schichten des Paars, aus welchem jene Scheidung besteht, beizutragen, die ohne alle Abhängigkeit von eigentlicher Nervenkraft bloß nach den allgemeinen Gesetzen der galvanisch-elektrischen Wechselwirkung ihre elektromotorische Thätigkeit ausübte, ohngefähr auf dieselbe Art wie in einer Säule, die man aus Muskelfleisch, Nervenmark und einem mit Wasser oder einer Salzauflösung getränkten Zwischenleiter aufbauen kann, wird schon dadurch bewiesen, daß nach Durchschneidung der zu den el. Organen gehenden Nerven, die erschütternde Kraft derselben auch sogleich erloschen ist, ohngeachtet doch in diesem Falle die heterogenen Schichten, welche die el. Organe bilden, unverändert geblieben sind.

Es bleibt unter diesen Verhältnissen nichts anders übrig, als den Nerven selbst den wesentlichsten Antheil an der Erzeugung der Elektrizität einzuräumen, und die el. Organe gleichsam nur als die Apparate zu betrachten, welche auf eine secundäre Weise zur Aufnahme und Entladung der ihnen momentan mitgetheilten Elektrizität dienen. Eine solche Idee hat auch RITTER in einer lehrreichen Anmerkung zu VOLTA's letztem Aufsatze¹ über den Krampfrochen geäußert. Er verspricht daselbst in einer besondern Abhandlung darzuthun, daß eine jederzeit bestehende Verbindung vieler kleiner Säulchen zum Äquivalente einer großplattigen Säule in den Organen der el. Fische Statt finden möge, daß dieses aber keinesweges primitive Volta'sche Säulen, sondern secundäre von der Art seiner Ladungssäulen seyen und daß überdies diese Ladungssäulen es nicht selbst seyen, die, sich entladend, die Erschütterung gäben, sondern daß sie freilich vorher geladen, eigentlich dazu dienen, daß die nach einer Reizung des Fisches von ihm gelieferte große Spannung seiner Nerven, so viel wie möglich nicht im Fische selbst wieder zusammengehe und ferner vielleicht noch, daß sie dem el. gespannten Nerven während der Schlagtheilung ungefähr eben diese Dienste erwiesen, wie eine el. Batterie von großer Capacität einer Volta'schen Säule, als welche, nach einmaliger Ladung jener und verbunden mit ihr bleibend, dann viel stärkere Schläge ertheile als ohne eine solche Verbindung. Einen vorläufigen Beweis für die Richtigkeit dieser Ansicht glaubt RITTER in einem von CONFIGLIACHI mit dem Zitterrochen angestellten Versuche gefunden zu haben. Dieser errichtete nämlich aus den getrennten Organen einiger Zitterrochen, die gar keine Zeichen am Elektrometer gegeben hatten, Säulen, die mehrere Minuten hindurch sehr wirksam waren, wenn sie einige Zeit der Wirkung einer gewöhnlichen Säule aus Zink- oder Kupfer-Platten ausgesetzt wurden, ganz auf dieselbe Art, wie dieses bei den Ritter'schen sogenannten Ladungssäulen eintritt.

RITTER ist indess jene Abhandlung schuldig geblieben, und ich zweifle sehr, ob der unleugbar statt findende so wichtige Einfluß der Nerven auf die Ertheilung der Erschütterungen und damit also auf die el. Ladung und Entladung der Organe, welche letztere unstreitig wenigstens als die nächste Ursache der Schläge

1 a. a. O. S. 644.

zu betrachten ist, auf dem jetzigen Standpuncte unserer Kenntniss von der Nervenkraft in einer bestimmten Construction dargelegt werden könne. Alles, was bis jetzt als ausgemacht angesehen werden kann, reducirt sich darauf, daß der el. Vorgang bei den Zitterfischen mit demjenigen einer Volta'schen Säule am nächsten übereinkommt, daß aber der einer Volta'schen Säule ganz analoge Apparat nicht ohne weiteres durch die bloße Maschineneinrichtung der el. Organe bedingt ist, und davon nicht unmittelbar die Ladung abhängt, sondern daß die Ladung und Entladung ein wirklicher Lebensact ist, zunächst bedingt durch den Nerveneinfluss auf die Organe, welcher wirklich den Bedürfnissen des Thiers gemäß und nach Maßgabe der Reizung, die dasselbe erleidet, auf diese Organe hin determinirt wird, so daß stets neue Ladungen und Entladungen von gleicher Stärke eine Zeitlang hindurch erfolgen können, worin sich abermals ein höheres Verhältniß als das einer durch sich selbst, d. h. die bloße Kraft der elektromotorischen Apparate erneuernden Ladung kund thut, da bei jeder Volta'schen Säule die Erschütterung bei der ersten Schließung allezeit stärker ist, als bei schnell wiederholten Schließungen oder gar während des fortdauernden Geschlossenseyns. v. HUMBOLDT bemerkt noch, da der Zitteraal sein el. Fluidum (richtiger seinen Schlag) dahin richtet, wohin er will, indem er es z. B. auf die kleinen Fische, die in einer gewissen Entfernung sich von ihm befinden, immer mit Sicherheit gleich einem Blitze schlendert, wie aus der Betäubung derselben erhellet, so müsse man auch zugeben, daß die Entladung nicht zugleich durch die ganze Haut erfolge, sondern an einer Stelle mehr als an der andern, die vielleicht durch eine vorübergehende Absonderung mit dem Organe in genauere Verbindung gesetzt worden ist. Indefs scheint eine solche Annahme eben nicht nothwendig zu seyn, da derselbe Erfolg auch eintreten muß, wenn der Zitteraal in einem solchen Falle überhaupt nur eine stärkere Entladung giebt, deren Wirkungskreis sich auch eben damit erweitern und jene Fische u. s. w. in sich aufnehmen muß, ohne auf sie ihre Richtung im Raume selbst vorzugsweise zu nehmen, wenn gleich dem Willen des Thieres nach nur auf sie abzielend. Wenn irgend mehr Licht über das Tiefere und noch Verborgene, was jenen el. Erscheinungen zum Grunde liegt, sich verbreiten soll, so muß es von einer genaueren Einsicht in das Wesen der Irritabilität ausgehen, denn

ohne allen Zweifel schliessen sich die el. Organe am nächsten an die Muskeln an, und die Zukunft ist vielleicht nicht mehr fern, welche über die Richtigkeit des Ausspruches entscheiden wird, das so wie die Muskelzusammenziehungen gleichsam nach Innen gehende elektrische Entladungen sind, eben so umgekehrt die Entladungen der el. Fische nach außen gerichtete Irritabilitäts-Aeusserungen. In diesem Sinne hat auch STEFFENS die Sache aufgefasst, ohne jedoch durch die am Ende seiner Abhandlung über die el. Fische hingeworfene mehr zur Physiologie gehörigen Bemerkungen — Fragen vielmehr als Antworten, ein größeres Licht verbreitet zu haben ¹.

Nachdem dieser Artikel bereits ausgearbeitet war, kam mir erst die Inaugural-Dissertation des F. L. GUIBAN ² zu Händen, welche eine Reihe sehr interessanter Versuche beschreibt, die der Vater des Verfassers bereits im Jahre 1789 zu Cayenne mit dem *Zitteraale* angestellt, und nach seiner Rückkehr nach Europa im Jahre 1791 der Akademie der Wissenschaften zu Paris vorgelegt hatte, deren damalige Bekanntmachung aber durch die Revolution verhindert worden war. Die von dem Sohne aus dem Nachlasse des Vaters in jener Dissertation mitgetheilten Erfahrungen sind besonders dadurch interessant, das sie noch mehr die Analogie der durch den Zitteraal (und somit durch alle el. Fische) ertheilten Erschütterungen mit denen der Volta'schen Säule und der Modification der Elektrizität in beiden Fällen beweisen.

a. GUIBAN vergleicht die Empfindung von schwächeren Schlägen des Zitteraals mit dem Kriebeln oder Ameisenkriechen in eingeschlafenen Gliedmaßen, auch sollen, wenn man den Fisch in der Hand behält, und die Schläge weniger heftig sind, die Empfindungen wie Erbeben von Saiten oder wie eine Art von Dröhnen auf einander folgen. Eben dieses ist so charakteristisch bei den Erschütterungen durch Volta'sche Säulen.

¹ Aufser den einzelnen in dem Abschnitte der Literatur aufgeführten Abhandlungen verdienen noch über die el. Fische verglichen zu werden: CAVALLO's vollständige Abhandlung u. s. w. II Bände. Leipzig 1797. Iter Band. S. 226 — 247. ERXLEBEN's physikalische Bibliothek Bd. II. III. IV. SINGER Elemente der Elektrizität u. s. w. S. 186. u. 381. Darstellung VOLTA's, seiner Untersuchungen über die Galvanische Elektrizität und ihrer Resultate in Gilb. N. Ann. XXI. S. 341. HEINRICH STEFFENS über die elektrischen Fische. Frankfurt am Main 1818. 8.

² De gymnoto electrico. Tubing. 1819.

b. Eine zweite auffallende Analogie bot sich in den sehr glänzenden Funken dar, welche GUIBAN dem Zitteraale zu entlocken wußte. Er bediente sich dazu zweier Leiter aus Flintenläufen und Eisendrähten zusammengesetzt, welche letztere mit zwei kleineren Flintenläufen verbunden waren, die nur eine halbe Linie aus einander standen. Die größeren Flintenläufe wurden mit ihren Enden in der einen erleuchteten Hälfte eines abgetheilten Zimmers, in welcher sich ein kräftiger Zitteraal auf einem isolirten Tische befand, mit dem Kopfe und Schwanze desselben in Verbindung gebracht, während GUIBAN in der andern verfinsterten Abtheilung des Zimmers die Erscheinungen an der Stelle, wo der leitende Kreis unterbrochen war, beobachtete. In dem Augenblicke der Verbindung mit dem Fische brachen in den Zwischenräumen *lebhafteste Funkensonnen* von einigen Zollen im Durchmesser mit einem Geräusch wie die Funken beim Feuerschlagen hervor.

c. GUIBAN machte auch bei einem großen Zitteraale, welcher 14 Tage in Ruhe gelassen war, die sonderbare Beobachtung, daß, als ein Leiter dem Munde desselben genähert wurde, ein auch bei vielem Lichte sehr *sichtbarer Strahlenbüschel* daraus hervorkam, und daß dieser Leiter vom Munde entfernt einige Secunden hindurch ähnliche Strahlen ausströmte. (?)

d. Er fand, wie v. HUMBOLDT, daß eine Lichtflamme, wenn sie auch vollkommen den kleinen Zwischenraum im leitenden Kreise ausfüllte, die Durchleitung der Wirkung vollkommen hinderte, während sowohl glühende als trockene *Kohlen* sich als Leiter zeigten.

e. Die Wirkung des Zitteraales war eben so wie die der Volta'schen Säule in dem Verhältnisse stärker, in welchem die Leiter in einem größeren Umfange von der Hand umspannt wurden, und in einer größeren Ausdehnung den Fisch berührten.

f. Obgleich die stärkere Wirkung erfolgte, wenn der Kopf und Schwanz des Fisches zugleich berührt wurden, so war doch auch eine nur einseitige Berührung irgend eines Theiles des Fisches mit einem guten Leiter hinlänglich, um die Erschütterung mitzutheilen, und besonders schien der Kopf des Fisches hierin einen Vorzug zu haben. Er zerschnitt Zitteraale in drei Theile, die beiden hinteren schienen die el. Kraft verloren zu haben, der Kopf und die mit ihm verbundenen Theile gaben aber noch 20 Minuten hindurch lebhafteste Stöße, und als alle drei Theile wie-

der an einander gefügt wurden, so durchdrang das el. Fluidum sie alle vom Kopfe bis zum Schwanze. In einem andern Falle, wo das Gehirn eines Zitteraals mit einem Meißel durchbohrt wurde, ertheilte der Fisch doch noch längere Zeit hindurch Erschütterungen, die jedoch am lebhaftesten waren, wenn der Finger in die Wunde oder in den Mund gesteckt wurde; doch als beim allmähigen Absterben dieses Fisches auch sein Vermögen, Erschütterungen zu ertheilen, verschwand, wurden die letzten Spuren desselben noch empfunden; als der Finger in eine Wunde im Schwanze hineingesteckt wurde.

g. GUISEAN beobachtete gleichfalls die besondere Empfindlichkeit des Zitteraals für Körper, welche seine Entladung vorzüglich bewirken können, und also namentlich für Metalle, die, wenn sie in den Wasserbehälter, in welchem der Fisch sich befindet, hineingesteckt werden, ihn jedesmal in eine besondere Unruhe versetzen; auch wenn er nach den Umständen dieselben nicht bemerken kann, und sie ihn hinanzuschwimmen veranlassen, wo er denn mit einer großen Heftigkeit dieselben anfaßt, um gleichsam sein el. Fluidum in sie zu ergießen. P.

Fixsterne.

Stellae fixae; étoiles fixes; *fixed stars*; heißen alle Sterne, die nicht *Kometen* oder *Planeten* sind, und zwar deswegen, weil sie ihre gegenseitige Stellung immer unverändert behalten.

Scheinbare Bewegung und Gröfse.

Dafs die Fixsterne, obgleich wir sie als ihre Lage nicht ändernd ansehen, dennoch scheinbare Bewegung zeigen, läßt sich wohl erklären. Die tägliche Bewegung der Erde um ihre Axe bringt den *scheinbaren Aufgang* und *Untergang* der Sterne, und den Anschein, als ob sie sich in 24 Stunden um die Erde bewegte, hervor, aber da diese Bewegung allen gemeinschaftlich ist, so erkennen wir leicht, dafs nur die Rotation der Erde es ist, die diese scheinbare Bewegung hervorbringt. Der Lauf der Erde um die Sonne bringt eine in verschiedenen Jahreszeiten ungleiche Stellung der Sterne gegen die Sonne hervor; diejenigen Sterne, welche zu gewissen Zeiten Abends aufgehen, kommen zu anderer Zeit erst um Mitternacht oder Morgens über dem

Horizonte herauf; aber auch hier überzeugt man sich leicht, daß die Sterne unter sich ihre Stellungen behalten und blofs die Sonne scheinbar unter ihnen fortrückt, wovon das wahre Fortrücken der Erde die Ursache ist.

Auch in dem *täglichen* Fortrücken der Sterne am Himmel bemerkt der genau beobachtende Astronom kleine scheinbare Ungleichheiten. Der Stern, der das eine Mal nahe am Zenith, das andre Mal nahe am nördlichen Horizonte durch den Meridian geht, erscheint in seiner letzten Stellung den nahe am Pole des Himmels stehenden Sternen etwas näher, als in der ersteren und der Weg, den er um den Pol beschreibt, ist kein ganz genauer Kreis. Aber aus allen Beobachtungen ergibt sich, das nur die Brechung der Lichtstrahlen in der Atmosphäre diese kleinen Aenderungen bewirkt.

Eben so ist auch die im Laufe vieler Jahre merklich werdende Aenderung der Lage der Fixsterne gegen den Himmelpol keine wahre Bewegung der Sterne, sondern sie entsteht nur dadurch, daß die Axe der sich drehenden Erde nicht ganz genau mit ihrer vorigen Lage parallel bleibt. Das Rückgehen der Nachtgleichen besteht nämlich in einer Aenderung der Lage des Aequators am Himmel und in einem dadurch bewirkten Fortrücken des Nachtgleichenpunctes; und da von diesem Puncte an die Länge der Gestirne gezählt wird, so ändert sich diese, während die Breite ungeändert bleibt. Auch die Rectascension und Declination der Sterne, die sich von einem Jahre zum andern immer auf einen andern Aequator beziehen, leiden fortwährend eben deshalb eine Aenderung. Aber alles dieses hat nur seinen Grund darin, daß die Axe der Erde nach bestimmten Gesetzen ihre Stellung ändert, und nicht immer dem Sterne zugewandt bleibt, gegen den sie jetzt gerichtet ist. Etwas Aehnliches gilt in Beziehung auf die kleinen Aenderungen, welche durch die sogenannte *Nutation* der Erdaxe und die Abnahme der Schiefe der Ekliptik in der Stellung der Sterne gegen Aequator und Ekliptik hervorgebracht werden. Auch die zwar schnelle aber doch eine Zeit fordernde Bewegung des Lichtes bringt eine kleine Aenderung in dem scheinbaren Orte der Fixsterne hervor¹. Endlich ist es wahrscheinlich, daß auch eine eigene Bewegung unsers ganzen Sonnensystems eine scheinbare Aen-

1 S. *Abirring des Lichtes*.

derung in der Lage der Sterne hervorbringen mag, wovon ich nachher bei der eignen Bewegung der Fixsterne etwas sagen werde.

Die scheinbare Gröfse oder eigentlich der *scheinbare Glanz* der Fixsterne ist sehr verschieden, von dem lebhaftesten Glanze an, den der *Sirius* uns zeigt, bis zu den feinsten teleskopischen Sternen hinab, die selbst den mächtigsten Fernröhren nur noch kaum erkennbar sind. Man hat die Sterne immer in Sterne erster Gröfse, zweiter Gröfse und so weiter eingetheilt; aber diese, freilich zu oberflächlichen Bestimmungen zureichende, Angabe beruhte auf keinem sichern Grunde, und es war daher nicht einmal genau möglich, bei allen Sternen zu sagen, ob man sie denn noch zur zweiten oder schon zur dritten Ordnung rechnen solle u. s. w. HERSCHEL hat eine zuverlässigere Methode befolgt, um die Gröfse der Sterne zu bestimmen. Da nämlich die Betrachtungen, welche im Art. *Fernrohr* angegeben sind, ihm dazu dienten, die Lichtstärke seiner Fernröhre zu bestimmen, so fand er darin ein Mittel, den wahren Glanz zweier Sterne mit einander zu vergleichen. Wir sehen im Fernrohre ein minder glänzendes Bild eines Sterns, wenn wir die Oeffnung des Fernrohrs zum Theil verdecken; wenn man also zwei an sich ganz gleiche Fernröhre so anwendet, dafs man durch das eine mit unverminderter Oeffnung einen kleinern Stern beobachtet, durch das andere einen gröfseren Stern, bei dem letzteren aber die Verminderung der Oeffnung allmählig fortschreiten läfst, bis der gröfsere Stern wegen verminderter Oeffnung dem kleinern mit voller Oeffnung gesehenen Sterne gleich ist, so hat man durch die Abmessung der Oeffnung ein genaues Mafs der Lichtstärke beider. Dafs aber der Eindruck, den beide Sterne auf das Auge machen, gleich ist, erkennt man, wenn man abwechselnd durch das eine Fernrohr den einen, durch das andere Fernrohr den andern Stern beobachtet. Auf diese Weise hat HERSCHEL viele Bestimmungen gemacht, von denen folgende Angaben als Beispiele dienen ¹. Der Stern *a* in der *Andromeda*, und der *Polarstern* haben $\frac{1}{4}$ des Lichtes, welches *Arcturus* besitzt; der Stern μ im *Pegasus* hat $\frac{1}{4}$ des Lichtes von *a* der *Andromeda*; und ebenso ist *q* im *Pegasus* einer der Sterne, die $\frac{1}{4}$ des Lichtes haben, das wir am μ des *Pegasus* beobachten. Aus den im Art. *Fernrohr* angeführten Gründen

1 Philos. Trans. for 1818. 429.

kann man also sagen, wenn Arcturus in die zweimal so große Entfernung von uns gerückt würde, so würde er α der Andromeda gleich erscheinen; viermal so entfernt, als er jetzt ist, würde er dem μ des Pegasus, achtmal so entfernt würde er dem q des Pegasus gleichen. Hiernach müßte man q des Pegasus, einen Stern achter Größe nennen, obgleich die Verzeichnisse ihn zur fünften Größe rechnen. Nach ähnlichen Bestimmungen setzt HERSCHEL das Licht des *Sirius* = 1, der *Capella* = $\frac{4}{5}$, des *Procyon* = $\frac{1}{4}$ und so ferner, und findet, daß die kleinsten, mit bloßem Auge noch sichtbaren Sternen, die man zur sechsten und siebenten Größe zu rechnen pflegt, nur $\frac{1}{25}$ des Lichtes, welches *Sirius* hat, besitzen, oder etwa $\frac{1}{100}$ des Lichtes der verschiedenen Sterne, die wir erster Größe nennen, daß also diese Sterne reichlich zwölfmal so entfernt als Sterne der ersten Größe seyn müssen und daher zur zwölften Größe müßten gerechnet werden. Bedenkt man nun, daß die raumdurchdringende Kraft eines 20füßigen Herschelschen Teleskops etwa 70 bis 80 mal so groß als die des bloßen Auges ist, so reicht ein solches Fernrohr bis zu Sternen der 840sten bis 960sten Größe; HERSCHEL'S 25füßiges Teleskop bis zu Sternen der 1150ten Größe; das 40füßige, dessen Kraft = 191 ist, bis zu Sternen der 2290ten Größe.

Aber nicht bloß die Größe der Sterne ist sehr verschieden, sondern auch ihre *Farbe*. *Sirius* hat ein weißes Licht, statt daß Aldebaran, der Stern Beteigeuze in Orion's Schulter und andre roth sind; HERSCHEL nennt den Stern 22. σ . des großen Hundes Granatroth; und noch mehr rothe Sterne giebt LALANDE an ¹. Auch andere Farben finden sich bei den kleinern Sternen und HERSCHEL'S Verzeichnisse geben blauliche, grünliche und violette Sterne an ². Auch noch andere Verschiedenheiten des Lichtes glauben einige Beobachter bemerkt zu haben. OLBERS z. B. bemerkt, daß unter den kleineren Sternen einige ein scintillirendes Licht zeigen, während andere, bei gleicher Lichtstärke, ein stilles und ruhiges Licht besitzen, und äußert den Gedanken, daß die Letzten wohl die entferntern seyn möchten ³.

¹ Connaiss. des Tems. pour. l'an XV. p. 378. und de Zach corr. astron. VII. 298.

² Vorschläge die Farben der Sterne näher zu bestimmen in Philosoph. Magaz. 1824, März, Apr.

³ Astron. Jahrb. 1826. S. 120.

Wahre Entfernung und Gröfse, Anzahl und Anordnung der Sterne.

Da die Erde jährlich einen Kreis durchläuft, der 41 Millionen Meilen im Durchmesser hat, so sollte man glauben, es müfste eine Parallaxe der Fixsterne statt finden, man müfste an den nähern eine scheinbare Aenderung der Stellung gegen die entfernten bemerken; aber dieses ist auf keine merkliche Weise der Fall. Die seit BRADLEY's Zeit oft wiederholten Bemühungen, die jährliche Parallaxe der Fixsterne zu bestimmen, haben die Ueberzeugung herbeigeführt, dafs sie gewifs bei keinem Sterne, auf den man die Beobachtung gerichtet hat, zwei Secunden beträgt, ja dafs sie vermuthlich kleiner als 1 Sec. ist, aber etwas Bestimmtes, wie grofs die Parallaxe sey, hat man noch bei keinem Sterne gefunden.

HERSCHEL brachte die Beobachtung der Doppelsterne in Vorschlag, um die Parallaxe zu bestimmen, weil, wenn ein näherer und ein sehr viel entfernterer Stern fast in gerader Linie mit unserer Sonne stehen und sich uns daher als Doppelstern zeigen, die kleine Aenderung in der gegenseitigen Stellung, welche aus der Bewegung der Erde hervorgehen möchte, am leichtesten merklich seyn würde. SCHRÖTER hat solche Beobachtungen angestellt und glaubt an ζ Orionis und an Mesarthim eine Parallaxe von $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{2}$ Sec. beobachtet zu haben ¹. Aber im Allgemeinen ist diese Methode doch nicht zu empfehlen, weil unter den Doppelsternen weit mehr einander nahe stehende Sterne seyn mögen, als solche, die weit von einander nur durch Zufall uns nahe neben einander erscheinen, und nur diese, die wir nach und nach wohl mit einiger Sicherheit erkennen werden, sind zu dieser Beobachtung passend. Andere Astronomen sind daher auch in neuerer Zeit zu der unmittelbaren Ortsbestimmung der Sterne zurückgekehrt, so wie BRADLEY sie zu eben dem Zwecke anwandte. PIAZZI, CALANDRELLI, und BRINKLEY haben geglaubt, bei den allersorgfältigsten Beobachtungen eine Parallaxe zu bemerken, die nach CALANDRELLI ² bei α der Leier sogar auf 5'', nach BRINKLEY bei eben dem Sterne auf 21'' gehen soll. PIAZZI's Beobachtungen des Polarsterns, die eine Parallaxe von

¹ Astr. Jahrb. 1805. 200.

² Astronom. Jahrb. 1814. S. 229. Philos. Transact. 1818. 275. 1821. 327.

13'' zu geben schienen, geben aber nach v. LINDENAU's Bemerkung gar keine Parallaxe, wenn man einige Beobachtungen, die von MASKELYNE's gleichzeitigen Beobachtungen zu sehr abweichen, ausschließt¹. BRINKLEY's Beobachtungen, von denen übrigens POND mit aller Achtung spricht, scheinen doch gleichfalls durch irgend einen andern Umstand die Differenzen gegeben zu haben, die BRINKLEY der Parallaxe zuschreibt. Um dieses sicher zu entscheiden, hielt POND seine übrigen vortrefflichen Instrumente nicht für genau genug, und liefs daher zwei zehnfüßige Fernröhre völlig feststehend, das eine auf α des Adlers, das andere auf α des Schwans richten². Jedes dieser Fernröhre enthält ein sehr genaues Mikrometer und man beobachtet nun den Durchgang jenes Sternes und eines zweiten durch dasselbe Feld gehenden, der nach seiner Stellung die Maxima der Parallaxe zu ganz andern Jahreszeiten haben müßte. Auf diese Weise wurden α des Schwans und β des Fuhrmanns zusammen beobachtet, und hier ergab sich, dafs die Parallaxe dieser Sterne schwerlich $\frac{1}{10}$ Sec. betragen könne³. Bei α der Leier konnte diese Beobachtung nicht gut gebraucht werden, weil kein hinreichend heller, auch bei Tage im Fernrohr sichtbarer Stern sich in gleicher Declination und ungefähr 12 Stunden später durch den Meridian gehend auffinden läßt; POND beobachtete daher α der Leier und γ des Drachen, so dafs er ihren Winkelabstand zu allen Jahreszeiten streng bestimmte, und durfte diese Sterne mit desto mehr Recht wählen, da BRINKLEY dem ersten eine bedeutende Parallaxe, dem zweiten gar keine merkliche Parallaxe zuschreibt. Bei diesen Beobachtungen wurden alle Vorsichten angewandt, und namentlich darauf gesehen, dafs die Temperatur im Observatorio der äußern gleich war, und das Resultat war, dafs auf den Unterschied der Parallaxen beider Sterne noch kein Zehntel Secunde komme⁴. Auch die auf α der Leier allein gerichteten Beobachtungen zeigen, dafs dieser Stern keine für POND's höchst vortreffliches Instrument merkliche Parallaxe hat⁵, und dafs also wohl in BRINKLEY's Instru-

1 Astron. Jahrb. 1819. S. 217.

2 Phil. Tr. 1817. 160.

3 Phil. Tr. 1817. 356.

4 Phil. Tr. 1823. 54.

5 a. a. O. 69. 70. 72.

ment, so vorzüglich es für Sterne nahe am Zenith ist, doch vielleicht kleine Fehler, die zugleich von der Temperatur abhängen mögen, bei Sternen, welche weiter vom Zenith entfernt sind, eintreten.

Auch nach diesen Untersuchungen also scheinen wir zu der Behauptung zurück geführt zu werden¹, daß wir die Grenzen der Parallaxen immer desto enger finden, je vollkommener unsere Instrumente und unsere Beobachtungsmethoden werden, und daß eine wahre Bestimmung der Parallaxe unmöglich ist. Betrüge aber die Parallaxe $\frac{1}{2}$ Secunde, für die nächsten Fixsterne, so wären diese dennoch 500000 mal so weit als die Sonne, das ist 10 Billionen Meilen von uns entfernt und das Licht, welches in $8\frac{1}{8}$ Minuten von der Sonne zu uns kommt, würde $7\frac{1}{2}$ Jahre gebrauchen, und von diesem nächsten Fixsterne zu uns gelangen. Der größte Theil der Fixsterne muß noch weit entfernter seyn, und wenn man annimmt, daß der *Sirius* ein Weltkörper mittlerer Größe ist, oder daß im Allgemeinen die Sterne, die uns am größten erscheinen, nur durch ihre Nähe diesen Vorzug haben, (eine Voraussetzung, die allerdings in Beziehung auf einen einzelnen Stern fehlerhaft seyn kann, aber als mittlere Bestimmung für alle doch die einzige wahrscheinliche ist), so läßt sich nach den schon angeführten Bestimmungen HERSCHEL'S mit Grunde sagen², daß die uns mit Fernröhren sichtbaren Sterne sich wenigstens bis auf 900 Siriusweiten oder bis auf Entfernungen, 900 mal so groß, als die des nächsten Fixsterns erstrecken. HERSCHEL führt³ Beobachtungen über die Sterne im Degengriff des Perseus an, welche mit großer Sicherheit zu zeigen scheinen, daß hier Sterne hinter einander liegen, die sich von 24 Siriusfernen bis 340 Siriusfernen durch einen Raum von 3000 Billionen Meilen erstrecken. Dieser Sternhaufen nämlich zeigt dem bloßen Auge keinen einzelnen Stern deutlich; nimmt man aber ein Fernrohr, welches doppelt so weit als das bloße Auge in den Raum eindringt, so

1 Auch BESSEL stimmt hiermit überein: *Fundamenta astronomiae* p. 121.

2 Diese Angabe Herschel's scheint absichtlich, als die kleinste, welche man annehmen kann, gewählt, denn nach der Kraft des 40 füssigen Teleskops zu rechnen, könnte man 2000 statt 900 setzen.

3 Phil. Tr. 1818. 429.

sieht man einige Sterne, deren Zahl stets mehr zunimmt, je stärker man nach und nach die Kraft des Fernrohrs wählt, und immer zeigen sich noch neue Sterne, wenn man auch ein Fernrohr nimmt, das $28\frac{1}{2}$ mal so weit als das blofse Auge (bis 342 Siriusfern) in den Raum eindringt. Bei einem solchen einzelnen Sternhaufen kann man zwar einwenden, er könne wohl aus kleineren, einander nahe stehenden Sternen bestehen, aber diese Voraussetzung kann doch nicht mit Wahrscheinlichkeit auf alle Gegenden der *Milchstrafse*, in welcher auf ähnliche Weise jedes stärkere Fernrohr immer neue Sterne sichtbar macht, angewandt werden, und wir dürfen sagen, dafs so weit es uns in unserm irdischen Standpuncte zu beurtheilen erlaubt ist, die uns umgebenden, besonders in der Milchstrafse sich bis zu grofsen Entfernungen erstreckenden Sterne, bis auf wenigstens 9000 Billionen Meilen Entfernung von uns ausgebreitet seyn mögen.

Ueber die *wahre Gröfse* der Sterne können wir zwar nichts Genaueres sagen, aber die Ueberlegungen, die sich uns hier darbieten, stimmen so mit den eben angeführten Bestimmungen zusammen, dafs sie diese zu bestätigen dienen. Dafs sie *Sonnen* oder selbstleuchtende Körper sind, kann man als gewifs annehmen, theils weil wir nicht einsehen, von woher sie Erleuchtung erhalten sollten, theils weil Körper mit fremdem Lichte erleuchtet uns gewifs nicht in so grofser Entfernung sichtbar seyn könnten. Der scheinbare Durchmesser der Sterne ist aber so klein, dafs an eine Messung desselben nie zu denken ist. Je reiner die Bilder sind, die ein Fernrohr darstellt, desto mehr überzeugt man sich, dafs auch die stärksten Vergröfserungen keinen mefsbaren Durchmesser zeigen. Eben dieses zeigt die Bedeckung der Sterne durch den Mond, indem sie hinter dem dunkeln Rande nicht nach und nach, wie es einem gröfsern scheinbaren Durchmesser gemäfs wäre, sondern plötzlich verschwinden. Auch photometrische Untersuchungen zeigen, dafs wenn unsere Sonne so weit hinausgerückt würde, als die nächsten Fixsterne etwa seyn mögen, sie uns wohl noch den Glanz eines Fixsterns zeigen könnte, obgleich ihr Durchmesser nur noch $\frac{1}{2}\pi$ Sec. betragen, also unmefsbar seyn würde. Als ein Beispiel solcher Berechnung theilt *OLBERS*¹ die Vergleichung mit, die sich aus

1 v. Zach Mon. Corr. VIII. 301.

dem, zu gewissen Zeiten gleichen Glanze des Mars und Aldebaran ergiebt. Diese zeigt, daß man die Lichtstärke der Sonne wenigstens 97000 Millionen mal größer als die eines Fixsterns erster Größe setzen muß, und daß sie sogar wohl über 120000 Millionen mal so groß kann angenommen werden. Sollte die Sonne also so schwach an Licht erscheinen, als ein Fixstern erster Größe, so müßte sie 310000 mal bis 350000 mal so weit von uns seyn, als sie jetzt ist, und auch nach diesen Bestimmungen wäre die Entfernung des nächsten Fixsterns 7 Billionen Meilen. Wir können also nun auch den Schluß umkehren und sagen, da nach Angabe der Parallaxe die Entfernung selbst der nächsten Sterne so ungemein groß ist, so müssen wenigstens die Sterne erster Größe eher größer als kleiner, wie unsere Sonne seyn, und da doch ganz gewiß nur wenige Sterne sich in jener geringsten Entfernung, die übrigen nach und nach viel weiter entfernt, befinden, so ist aller Grund, im Allgemeinen zu sagen, die Fixsterne sind wahrscheinlich nicht kleiner als unsere Sonne. SCHUBERT'S¹ Meinung, daß die Sterne, die entfernter von uns stehen, auch kleiner sind, eben darum aber auch unser Blick sich nicht so tief in den Raum erstreckt, als HERSCHEL es annimmt, scheint mir ganz unbegründet, obgleich im Einzelnen wohl manche Sterne klein seyn können, und es sofern nicht unmöglich wäre, daß selbst unter den kleiner erscheinenden Sternen einmal einer aufgefunden würde, der eine meßbare Parallaxe hätte.

Ueber die *Anordnung* der Sterne in dem unermesslichen Sternsysteme, zu welchem unsere Sonne gehört, wissen wir nichts, und haben keine sicheren Mittel, um uns zuverlässige Kenntnisse davon zu erwerben. Nimmt man an, daß im Durchschnitt alle Sterne gleich groß sind, so würde HERSCHEL'S schon erwähnte Methode, zu beobachten, bei welcher Raum durchdringenden Kraft uns irgend ein Stern sichtbar wird, ein Mittel seyn, die Entfernung desselben zu bestimmen, und die so angestellten Abzählungen scheinen die gleiche Austheilung im Raume, welche ohnehin die einzige wahrscheinliche Hypothese ist, wenigstens eher zu bestätigen als zu widerlegen. Wenn man sich eine Kugelgröße vom Halbmesser = 1 als das Gebiet unsrer

1 Nicht des Astronomen, sondern des Philosophen, der eine *Kosmographie* geschrieben hat.

Sonne denkt, und das Gebiet einer zweiten Sonne daran grenzend, so stände diese in der Entfernung = 2 und ihr Gebiet erstreckte sich von der Entfernung = 1 bis zur Entfernung = 3; die Kugelschicht zwischen den Oberflächen, deren Halbmesser = 1 und = 3 sind, enthält aber 26 solche Räume, wie das Gebiet unserer Sonne, und es müßten daher bei gleicher Austheilung der Sterne 26 Sterne erster Ordnung seyn; die Kugelschicht zwischen den Halbmessern = 3 und = 5, enthält 98 Sterngebiete, dem Gebiete unserer Sonne gleich, also Raum für 98 Sterne der zweiten Ordnung und eben so haben wir 218 für Sterne der dritten Ordnung, 388 für Sterne der vierten Ordnung. Nach HERSCHEL's oben angeführten Beobachtungen würde μ des Pegasus zur vierten Ordnung gehören, und wenn man alle Sterne zusammen nimmt, die, nach den gewöhnlichen Angaben der Größen, eben so groß oder größer erscheinen, so geben die Kataloge deren 730 (eigentlich wohl noch mehrere, da PIAZZI's Katalog den Stern μ schon zwischen vierter und fünfter GröÙe setzt), die demnach den 728 Sonnengebieten ganz genau angemessen wären. Gehen wir nun weiter und berechnen die Räume der fünften Ordnung = 602, der sechsten Ordnung = 866, der siebenten Ordnung = 1178, so würde die Summe dieser Räume 2646 seyn, und da q des Pegasus, ein Stern fünfter GröÙe nach den Katalogen, nach HERSCHEL's Bestimmung der Lichtstärke schon in die achte Ordnung gehört, so könnten wir die 1161 Sterne der fünften GröÙe, welche die Kataloge angeben, zu diesen drei Ordnungen rechnen, und diese wären also lange nicht so zahlreich, als sie seyn könnten. Die Zahl der Sterne, welche man sechster oder siebenter GröÙe nennt, wird auf ungefähr 12000 angegeben, aber da unsere Kataloge hier unvollkommen sind, so muß man freilich etwas mehr rechnen; diese Sterne nehmen nach HERSCHEL's Lichtabmessung wenigstens die achte, neunte, zehnte und eilfte Ordnung ein und der Raum, in den sie zerstreut sind, beträgt gegen 9000, oder wenn man die zwölfte Ordnung, wie es nach HERSCHEL's Bestimmung erlaubt ist, noch mit hinzunimmt, über 12000, so daß bis zu den Grenzen hin, die das bloße Auge übersieht, die gleiche GröÙe der Sterne und die gleiche Ausdehnung der Sterngebiete nicht erheblich von der, als wahrscheinlichstes Resultat der Beobachtung sich ergebenden Bestimmung abweicht. Diese Ueberlegungen zeigen auch den Weg, wie man die Frage nach der Anord-

nung unsers Sternsystems, zwar nie mit Sicherheit, aber doch mit immer größerer Wahrscheinlichkeit weiter beantworten kann.

Bei früheren Beobachtungen hatte HERSCHEL, um nur ungefähr den Umriss des Sternsystems kennen zu lernen, zu welchem unsere Sonne gehört, sich mehr auf die Sternzählungen verlassen, und die Entfernung, bis zu welcher hinaus sich die in einer bestimmten Gegend beobachteten Sterne erstreckten, der Cubikwurzel ihrer Anzahl in einem immer gleichen Gesichtsfelde proportional angenommen, so daß z. B. wenn das eine Mal 5, das andere Mal 472 Sterne im Gesichtsfelde erschienen, die Räume, worin sie ausgebreitet seyn möchten, wie $\sqrt[3]{5}$ zu $\sqrt[3]{472}$, wie 1710 zu 7786 angenommen wurde. Nach diesen Grundsätzen hat damals HERSCHEL einen Querschnitt unsers Sternsystems gezeichnet¹, und die Ausdehnung desselben nach einer Richtung *senkrecht auf* die Milchstraße etwa 100 Siriusfern nach beiden Seiten, nach einer Richtung *in* der Milchstraße an der einen Seite 300, an der andern gegen 500 Siriusfern angegeben. Wenn man mit Fernröhren von ungleichen Raum durchdringenden Kräften nach allen Gegenden des Himmels ähnliche Sternzählungen anstellte, so könnte die Frage nach der Anordnung und Größe unsers Sternsystems viel vollständiger beantwortet werden, und HERSCHEL's Angaben, die als erste Versuche dieser Art schon recht viel geleistet haben, würden gewiß noch manche Berichtigung erhalten.

Von der unzähligen Menge der Sterne geben diese Zählungen wenigstens einen oberflächlichen Begriff. HERSCHEL giebt nämlich an, daß nach der Zählung in einigen Gesichtsfeldern in dem dichtesten Theile der Milchstraße, 116000 Sterne in einer Viertelstunde durch das Teleskop gingen, in einem Streifen, der $2\frac{1}{2}$ Grad Breite hatte. In den von der Milchstraße entfernten Gegenden des Himmels ist freilich die Anzahl der Sterne viel geringer, aber wie ungemein groß dennoch die Anzahl der mit den stärksten Fernröhren sichtbaren Sterne ist, läßt sich hieraus ungefähr abnehmen.

¹ Herschel's sämtliche Schriften 1ster Band. S. 114. Taf. 3.

Eigene Bewegung der Fixsterne.

Obgleich wir, sobald es auf irgend erhebliche Aenderungen in der Stellung ankommt, mit Recht behaupten, daß die Fixsterne ihre Stellung gegen einander nicht ändern, so haben doch genaue Beobachtungen gezeigt, daß auch sie nicht ganz unbewegt bleiben. Diese anscheinend eigenthümliche Bewegung ist zuerst von HALLEY¹ durch Vergleichung mit des PTOLEMÄUS Angaben entdeckt, und für einige gröfsere Sterne ist theils von ihm, theils von CASSINI und mehreren Astronomen derselben Zeit, die Gröfse dieser Fortrückung angegeben worden. Ein etwas vollständigeres Verzeichniß von 70 Sternen, an denen man eigene Bewegung bemerkt, gab TOB. MAYER² und später sind die Beobachtungen und die Vergleichungen mit älteren Beobachtungen sehr vermehrt worden. Namentlich hat PIAZZI seine eigenen Beobachtungen mit denen der früheren Astronomen verglichen; BESSEL hat aus BRADLEY's Beobachtungen die nach allen Reductionen hervorgehende eigene Bewegung bestimmt. MASKELYNE und POND haben eben diese Vergleichungen angestellt³. Nach diesen Untersuchungen hat *Sirius* eine eigene Bewegung von 1 Sec. südlich, *Arcturus* rückt 2 Sec. südlich fort. Eine vorzüglich starke eigene Bewegung haben nach BESSEL μ der *Cassiopeja*, welcher 6' 10" in 100 Jahren fortrückt, δ im *Eridanus*, welcher 6' 44", und No. 61 im *Schwan*, welcher 8' 31" in hundert Jahren zurücklegt. Bei diesen Sternen beträgt also die eigene Bewegung 4 bis 5 Secunden jährlich und kann daher leicht wahrgenommen werden. BESSEL führt es als etwas vorzüglich Bemerkenswerthes an, daß sich unter den Sternen, deren eigene Bewegung bedeutend ist, so viele Doppelsterne finden, nämlich unter den aus BRADLEY's Beobachtungen angemerkten 71 Sternen, deren jährliche Bewegung mehr als $\frac{1}{2}$ Sec. beträgt, sind 17 Doppelsterne; ja es rücken selbst Sterne, die nicht einander ganz nahe stehen, gemeinschaftlich fort, z. B. der Doppelstern A im *Ophiuchus* und No. 30. im *Scorpion*, die 12 Minuten von einander entfernt sind, haben eine gemein-

1 Phil. Tr. 1718, 786.

2 Opera inedita. I. No. 6.

3 Piazzì im Libro sesto del real osserv. di Palermo, Bessel in den fundamentis astronomiae pro anno 1755, p. 303.

schaftliche Bewegung, die über 1 Sec. jährlich beträgt¹. Etwas Aehnliches scheint hier und da bei noch weiter von einander entfernten Sternen statt zu finden. POND² hat zu diesen Bestimmungen der eigenen Bewegungen noch folgende unerwartete Bemerkung hinzugefügt. Wenn POND aus BRADLEY'S Beobachtungen für 1756 und aus seinen eigenen Beobachtungen für 1813 die eigene Bewegung, so als ob sie gleichförmig wäre, herleitete, und, mit gehöriger Rücksicht auf das Rückgehen der Nachtgleichen, den Ort eines Sternes für eine spätere Zeit bestimmte, so fand er im Allgemeinen, daß die Beobachtung die Sterne südlicher angab, als jene Vorausberechnung; diese Tendenz zu einer südlichen Stellung schien stärker bei den südlichen als bei den nördlichen Sternen, und die wenigen Sterne, die eine Tendenz nordwärts zeigten, lagen nördlich vom Zenith und hatten ihre Lage wenig geändert. *Sirius* befindet sich an der Seite des Himmels, wo die südliche Bewegung, wie es scheint, am merklichsten ist, *Antares* in der entgegengesetzten Gegend, wo sie wieder merklich ist. Einige Sterne haben sich mehr von ihrem vorausberechneten Platze entfernt, als andere benachbarte Sterne, und da wo dieses der Fall ist, findet sich die Bewegung allemal südlich. *Capella*, *Procyon* und *Sirius*, deren eigene Bewegung schon nach älteren Beobachtungen als südwärts gerichtet bekannt war, stehen immer südwärts von dem voraus berechneten Orte, und haben also eine beschleunigte südwärts gerichtete Bewegung. Zu bemerken ist doch auch, sagt POND, daß obgleich in dem Greenwicher Kataloge sich eben so viele Sterne finden, deren eigene Bewegung nördlich, als deren eigene Bewegung südlich ist, dennoch die Summe aller südlichen eigenen Bewegungen viermal so groß als aller nördlichen ist, doch könne man noch immer nicht sicher sagen, ob dieses nicht Zufall sey.

Man kann mit Recht die Frage aufwerfen, ob nicht auch diese Bewegung der Fixsterne nur eine scheinbare sey, und PREVOST nebst HERSCHEL haben fast zu gleicher Zeit die Untersuchung angestellt, welche scheinbare Bewegung sich an den Sternen müßte wahrnehmen lassen, wenn unsere Sonne mit allen Planeten im Weltraume fortrückte. Ist nämlich unsere

1 Dies bestätigen SOUTH and HERSCHEL Ph. Tr. 1826. 363.

2 Phil. Tr. 1823. p. 36.

Sonne ein Fixstern, und haben andere Fixsterne eine eigene Bewegung, so ist es wahrscheinlich, daß auch sie im Raume fortrückt, ja es ist schon an sich eine absolute Ruhe ganz unwahrscheinlich; diese Bewegung aber muß auf den scheinbaren Ort der Sterne einen Einfluß haben, am meisten auf die, welche uns näher sind. Die Sterne, gegen welche hin sich unser Sonnensystem bewegt, müssen weiter aus einander zu rücken, die welche wir hinter uns zurücklassen, müssen ihre Abstände zu vermindern scheinen, alle aber werden sich, wenn die Bewegung der Sonne allein die Ursache dieser scheinbaren Bewegung ist, so fortbewegen, daß der scheinbar durchlaufene Bogen gegen den Punct zu geht, von welchem abwärts unsere Bewegung gerichtet ist. Hierauf gründete sich PREVOST's und HERSCHEL's Bemühung aus den damals bekannten Beobachtungen die Richtung der Bewegung vieler einzelner Sterne auf die Himmelskugel aufzuzeichnen, und zu sehen, ob die Durchschnittspuncte dieser Richtungslinien vielleicht in *eine* Himmelsgegend zusammenfielen. Wäre wirklich die Bewegung unserer Sonne, die wir ohne Zweifel für eine nicht zu erhebliche Zeit als geradlinigt ansehen dürften, die *einzig*e Ursache jener Erscheinung, und wären die Beobachtungen vollkommen genau, so müßten alle jene scheinbaren Wege einzelner Sterne verlängert sich genau in zwei einander gegenüber liegenden Puncten der Himmelskugel durchschneiden, und alle Bewegungen müßten dem *einen* Puncte zu gehen; und selbst wenn wahrhaft eigene Bewegungen sich einmischten, ließe sich hoffen, daß jene Durchschnittspuncte doch um den Punct herum, wohin sie eigentlich genau fallen sollten, zahlreicher liegen würden, als anderswo. Die Beobachtungen schienen dieses wirklich zu bestätigen, und die Durchschnittspuncte der Kreise, auf welche die Sterne fortrücken, deren eigene Bewegung am erheblichsten ist, schienen nach PREVOST¹ um einen in 230° Rectascension liegenden Punct am meisten vorzukommen. HERSCHEL setzte den Punct², gegen welchen die Sonne zu gehe, bei λ des *Hercules* in 258° Rectasc. und 27° nördl. Decl. und PREVOST findet in seiner spätern Untersuchung diesen Punct

1. Mém. de Berlin 1781. p. 445. und astron. Jahrb. 1805. S. 113.

2. Astron. Jahrb. 1787. S. 224. 1811. S. 224. und 1ster Suppl. Bd. S. 67. Phil. Transact. 1783. 147.

ganz wohl mit den Beobachtungen übereinstimmend. Später hat HERSCHEL das Knie des *Hercules* (in 246° Rectasc. und $49\frac{1}{2}^\circ$ Decl.) als noch genauer den Beobachtungen entsprechend angegeben, und bemerkenswerth ist es wenigstens, daß so viele Durchschnittspuncte der eigenen Bewegung größerer Sterne in und um den *Hercules* fallen¹. Aber spätere Vergleichen haben dennoch die Meinung, daß die Bewegung unsers Sonnensystems sich so deutlich in den eigenen Bewegungen der Fixsterne zeige, als sehr unsicher dargestellt, indem, wie BESSEL bemerkt², ganz entfernte, ja diametral einander entgegengesetzte Puncte an der Himmelskugel angegeben werden können, die man hiernach als die Puncte, auf welche zu unsere Sonne geht, ansehen dürfte.

Wenn man BESSEL's Angaben der eigenen Bewegungen etwas näher betrachtet, so scheint es, daß aus diesen sich zwar nicht die eigene Bewegung der Sonne verräth, aber doch manche merkwürdige Uebereinstimmungen bei Sternen, die in einerlei Himmelsgegend stehen, vorkommen. So z. B. haben drei Sterne in der Cassiopeja, β , η , μ , zwar eine ungleiche Fortrückung, aber eine nahe gleiche Richtung, indem der eine Pol des Kreises, auf welchem jeder von ihnen fortückt, sehr nahe bei 160° Rectasc. und 30° Decl. liegt³; etwas Aehnliches findet, wenn gleich weniger gut, bei ϵ und δ des *Schwans* und b und α des *Adlers* statt, wo der Pol bei 190° Rectasc. und 40 bis 50° Declin. liegt. — Aber freilich darf man auf diese, vielleicht zufälligen Umstände keinen großen Werth legen.

Zu bemerken ist endlich noch, daß auch bei den Sternen, deren eigene Bewegung so erheblich ist, keine jährliche Parallaxe beobachtet wird, und sie also sehr weit von der Erde entfernt seyn müssen⁴.

Doppelsterne.

Man findet sehr viele Sterne, die so nahe neben sich einen oder auch mehrere haben, daß man sie für zusammen-

¹ Astron. Jahrb. 4ter Suppl.-Band. S. 70. 71.

² Fundamenta astron. p. 309.

³ Das Gemeinschaftliche, was hierin zu liegen scheint, gewinnt durch v. Lindenau's Bemerkung (Astron. Jahrb. 1818. S. 248.) daß die Sterne um μ Cossiop. eine ähnliche Bewegung zu haben scheinen, noch an Merkwürdigkeit.

⁴ Astron. Jahrb. 1818. S. 248.

gehörige Sterne anzusehen Veranlassung findet. Diese Doppelsterne oder vielfachen Sterne könnten, freilich wohl auch nur scheinbar, einander nahe seyn, und wirklich, zwar fast in derselben Richtung, aber doch sehr weit von einander entfernt, stehen; allein wenn man nach der Wahrscheinlichkeitsrechnung bestimmt, wie viele Sterne selbst 10ter, 12ter Größe auf einen Quadratgrad am Himmel im Durchschnitte kommen, so findet man, daß das Zusammentreffen mehrerer oder auch nur zweier in einer Entfernung von wenig Secunden nur sehr selten zufällig vorkommen könnte. Dieser Grund¹ gäbe schon Veranlassung, die Doppelsterne als wirklich in Verbindung stehend anzusehen; aber diese Verbindung zeigt sich bei manchen noch viel entscheidender durch eine gemeinschaftliche eigene Bewegung und durch Bewegung um einander. Schon CHRIST. MAYER machte auf diese Fixsternsysteme aufmerksam², und obgleich seine Meinung, daß wir dort Planeten, die um einen Fixstern laufen, sähen, wohl keinen Beifall verdient, so hat er doch das geahnet, was spätere Zeiten bestätigt haben.

Unter den Sternen, welche als Doppelsterne eine starke eigene Bewegung haben, oder wo beide zusammen fortgerückt sind, ist No. 61. im *Schwane* am merkwürdigsten. BESSEL³ und PIAZZI haben zuerst hierauf aufmerksam gemacht, der erstere aber hat die relative Bewegung beider gegen einander sorgfältiger untersucht. Seit BRADLEY's Zeit kennt man diesen Stern als Doppelstern, und seit dieser Zeit sind beide Sterne, ohne ihren Abstand erheblich zu ändern, um 7 Minuten gegen die benachbarten Sterne fortgerückt. Diese zwei Sterne rücken also im Weltraume zusammen fort, und da ihr scheinbarer Weg jährlich 5 Secunden, ihre Parallaxe aber allem Anschein nach nicht $\frac{1}{2}$ Secunde beträgt⁴, so muß der wahre durchlaufene Raum wenigstens 200 Millionen Meilen betragen. Dabei haben nun die Sterne eine gegenseitige Bewegung, so daß der Stel-

1 Herschel's Schriften I. S. 180.

2 Mayer's Vertheidigung neuer Beobachtungen von Fixsterntaubanten. Mannh. 1778. und Comment. Acad. Theodoro-Palat. Vol. IV. Phys. 1780. auch Astron. Jahrb. 1784. S. 183. und 1785, S. 132.

3 Astron. Jahrb. 1815. S. 209.

4 Nach Bessel's zahlreichen Beobachtungen ist sie ganz unmerklich. Astron. Zeitschr. von v. Lindenau. II. 134.

IV. Bd.

lungswinkel sich etwa um 60 Grade geändert und der Abstand von 20" bis ungefähr auf 15" abgenommen hat. Die Sterne scheinen also seit BRADLEY'S Zeit bis zu BESSEL'S Beobachtungen ein Sechstel ihrer Bahn durchlaufen zu haben, so daß ihre ganze Umlaufzeit 350 bis 400 Jahre seyn würde¹. Ein Planet, der in 354 Jahren um unsere Sonne lief, müßte 50 mal so weit als die Erde von der Sonne entfernt seyn, und folglich, wenn die Summe der Massen jener beiden Sterne der Sonnenmasse gleich wäre, so würde die Parallaxe der Erdbahn nur $\frac{1}{30}$ des scheinbaren Abstandes, etwa $\frac{1}{4}$ Secunde betragen. Die Vermuthung, daß diese Sterne eben so viel Masse als die Sonne haben, ist also durch die Beobachtung, daß die Parallaxe unmerklich ist, so ziemlich bestätigt, und ihre Masse kann noch größer seyn, wenn die Sterne noch weiter von uns entfernt sind.

Ueber ähnliche Bewegungen der Doppelsterne um einander hat zuerst HERSCHEL eine Reihe von Beobachtungen bekannt gemacht, zu denen nachher STRUVE und SOUTH die wichtigsten Zusätze und Bestätigungen geliefert haben². Aus diesen Beobachtungen hebe ich einige aus. Der Stern *Castor* ist ein Doppelstern, der Abstand beider von einander 5 Secunden die Umlaufzeit, nach SOUTH'S und des jüngern HERSCHEL'S Beobachtungen 460 Jahre. Sollten diese beiden Sterne zusammen eine Masse so groß als unsere Sonne haben, so müßten sie 60 mal so weit von einander als die Erde von der Sonne entfernt seyn, und ihre Parallaxe kaum $\frac{1}{17}$ Secunde betragen. ϵ in *Bootes* gewährt, wegen der eigenthümlichen Lichtfarbe beider Sterne, das Ansehen, als ob es ein Planet mit seinem Trabanten wäre. ζ des *Hercules* ward 1782 als ein Doppelstern beobachtet, wo der größere ein bläulich weißes, der kleinere ein aschfarbiges Licht hatte; der schon damals geringe Abstand hatte 1795 so abgenommen, daß er schwerer zu erkennen war; 1802 waren beide Sterne gar nicht mehr als getrennt zu erkennen und scheinen sich also bedeckt zu haben. HERSCHEL macht bei diesen Beobachtungen die richtige Bemerkung, daß man auch

¹ Die Winkelbewegung scheint, nach SOUTH und HERSCHEL jetzt langsamer zu seyn und nur $\frac{1}{3}$ Gr. jährlich zu betragen. Phil. Tr. 1826. 332.

² Astron. Jahrb. 1803. S. 154, 226. Ph. Tr. 1803. 1804. Ph. Tr. 1826. 321.

hier auf die Bewegung der Sonne Rücksicht nehmen müsse, und daher über die gegenseitige wahre Bewegung der Doppelsterne nicht ganz sicher urtheilen könne, bis man durch das gemeinschaftliche Fortrücken beider Sterne die Richtung, nach welcher sie vermöge eigener Bewegung und Parallaxe fortgehen, kennen gelernt habe. Er bemerkt ferner, daß in der Milchstraße viele Fälle vorzukommen scheinen, wo die Nähe zweier Sterne nur scheinbar ist, wo nämlich, bei der unzählbaren Menge hinter einander stehender Sterne, uns ungleich weit entfernte Sterne als Doppelsterne erscheinen. Unter diesen wären daher viele, die keine Aenderung der Stellung zeigen, statt daß bei isolirten Sternen, welche Doppelsterne sind, sich in den meisten Fällen Aenderung der Stellung wahrnehmen läßt.

STRUVE zeichnet unter den vielen von ihm genau beobachteten Doppelsterne¹, besonders ξ im großen Bäre und p. 70. im *Ophiuchus*, deren starke gegenseitige Bewegung auch HERSCHEL schon bemerkt hatte, als vorzüglich bemerkenswerth uns. Der Doppelstern ξ im großen Bäre besteht aus einem Sterne vierter bis fünfter und aus einem Sterne sechster Größe; ihre Entfernung ist $2\frac{1}{2}$ bis $2\frac{3}{4}$ Secunden. Von 1781 bis 1822 hat der Stellungswinkel sich um 240 Grade geändert, und zwar in den letzten Jahren dieses Zeitraumes am stärksten, (nach SOUTH jetzt jährlich 7 Grade)²; die Umlaufszeit läßt sich also wohl auf weniger als 60 Jahre angeben. Wenn man nach HERSCHEL'S allgemeiner Bestimmung die Sterne vierter bis sechster Größe etwa 8 mal so entfernt als die nächsten Sterne setzt, so könnten diese Sterne nur höchstens $\frac{1}{16}$ Secunde Parallaxe haben, und ihr Abstand von einander wäre 40 mal so groß, als die Entfernung der Erde von der Sonne; ein Planet unserer Sonne würde in diesem Abstände 250 Jahre zu seinem Umlaufe nöthig haben, und man kann also in jenem schnellen Umlaufe Grund genug finden, um die Masse jener Sterne für viel größer als die Masse unserer Sonne anzunehmen.

Der Doppelstern p. 70. des *Ophiuchus* besteht aus einem weiß-gelblichen Sterne vierter und einem rothen Sterne siebenter Größe, der Abstand beider ist $5\frac{1}{2}$ Sec. und seit HERSCHEL'S

1 Observat. astronomicae. Vol. II, p. 177. 179. Vol. IV. p. 187. 188.

2 Ph. Tr. 1826. 332.

erster Beobachtung hat sich in 42 Jahren der Stellungswinkel beinahe um 300 Grade geändert, so daß ein ganzer Umlauf bald beendigt seyn wird. Die Beobachtungen von SOUTH und dem jüngern HERSCHEL bestätigen dieses¹, und fügen die wichtige Belehrung hinzu, daß die Winkelbewegung, welche eine Zeit lang bedeutend schneller geworden war, jetzt stark im Abnehmen ist; die letzteren Beobachter glauben auch die Behauptung beifügen zu können, daß der Abstand beider Sterne von einander jetzt im Zunehmen ist, so wie es die abnehmende Winkelgeschwindigkeit nach den Attractionsgesetzen fordert. Wenn wir diesen beiden Sternen zusammen eben die Masse beilegen, wie unserer Sonne, so müßte der wahre Abstand beider von einander 13 bis 14 mal so groß, als der Abstand der Erde von der Sonne seyn, und die Parallaxe dieser Sterne könnte etwa $\frac{1}{3}$ Sec. betragen, wollten wir sie aber nach ihrer scheinbaren Größe in viel größere Entfernung hinaus gerückt annehmen, so müßte ihre Masse sehr viel größer, als die Masse unserer Sonne seyn.

Die neuesten Beobachtungen von SOUTH und dem jüngern HERSCHEL fügen zu diesen wichtigen Belehrungen noch manches Neue, indem sie theils eine große Anzahl von Doppelsternen kennen lehren, welche seit 40 Jahren ihre Stellung gar nicht verändert haben, theils aber auch das eben Angeführte bestätigen². Einzeln kommen hier auch solche Fälle vor³, wo der eine Stern sich von dem andern, vermöge eigener Bewegung des einen, ganz entfernt, und wo also der eine vermuthlich viel näher als der andere seyn muß, so daß diese Doppelsterne vielleicht durch ihre in verschiedenen Jahreszeiten ungleichen Abstände von einander uns eine Parallaxe des näheren Sternes zeigen könnten.

Durch SOUTH's und HERSCHEL's Beobachtungen lernen wir ζ des Krebses als ein System von drei Sternen kennen, die ihre gegenseitige Lage ändern⁴, und so bieten diese Beobachtungen

1 Ph. Tr. 1826. 371.

2 Ph. Tr. 1824. III. 20. 1826. 1.

3 z. B. Ph. Tr. 1826. 279.

4 Ph. Tr. 1826. 326. Ueber mancherlei mögliche Bewegungen in solchen zusammengesetzten Systemen hat HERSCHEL Untersuchungen, die jedoch lange nicht erschöpfend sind, angestellt. Herschel's Schriften I. S. 183.

sehr viel Beachtenswerthes dar, was ich indess, da bei Einzelem lange zu verweilen hier nicht möglich ist, übergehe¹.

Ob diejenigen Sterne, die als vielfache Sterne nahe bei einander erscheinen, wirklich in Verbindung stehen, darüber fehlen uns noch genaue Bestimmungen. Man kann die Frage noch weiter ausdehnen und fragen, ob die so nahe zusammenstehenden zahlreichen Sterne der Krippe im Krebse, des Degengriffs in der Hand des Perseus, selbst die Sterne im Haar der Berenice nicht zu einem System verbundene, einander nahe Sterne seyn könnten. Wenn sie dieses sind, so müßte sich aber ohne Zweifel theils eine gemeinschaftliche scheinbare Bewegung, vermöge der wohl nicht zu bezweifelnden eigenen Bewegung unseres Sonnensystems, theils eine relative Bewegung gegenseitiger Umläufe wahrnehmen lassen; so lange die Beobachtungen uns diese nicht zeigen, haben wir keinen Grund, sie als näher verbunden anzusehen, und können daher solche Bestimmungen, wie die von HERSCHEL angegebenen, über den Sternhaufen im Perseus als sehr wahrscheinlich annehmen. Was diejenigen Sternhaufen betrifft, die selbst in Fernröhren nur durch ihren vereinigten Glanz sichtbar werden, so verspare ich die dahin gehörigen Angaben für den Artikel *Nebelflecke*.

Veränderliche Sterne.

Wenn wir unsere jetzige Bestimmung des scheinbaren Glanzes verschiedener Sterne mit den Bestimmungen älterer Astronomen vergleichen, so finden sich manche merkwürdige Verschiedenheiten. OLBERS bemerkt z. B. daß α im Drachen, δ im großen Bären (den BAYER noch dem Sterne β gleich angab) und β des Adlers eine Abnahme des Lichtes erlitten zu haben scheinen, statt daß σ des Schützen und ϵ des Pegasus vielleicht heller geworden sind². Andere Sterne scheinen eine andere Farbe angenommen zu haben, denn Sirius, den SENECA³ roth, wie

1 Herschel's Verzeichnisse von Doppelsternen. Phil. Tr. 1782. 1785. Beobachtungen von BESSEL in Schumacher astron. Nachr. IV. 301. STRAUVE's neue Doppelsterne, in Schumacher astron. Nachrichten IV. 65.

2 Astron. Zeitschrift von v. Lindenau etc. II. 182.

3 Quaest. natur. I, 1. acrior cuniculae rubor Martis remissio Phil. Tr. 1760. 493.

Mars, nannte, ist jetzt gewiß von allem vorherrschenden Roth vollkommen frei. HERSCHEL hat, um künftigen Zeiten die Vergleichung des Glanzes, welchen uns einzelne Sterne in unserer Zeit darbieten, getreu aufzubehalten, für eine große Anzahl von Sternen die genauen Angaben, welchen andern Sternen sie gleich sind, welchen sie an Glanze ein wenig nachstehen, vor welchen sie an Glanz einen kleinen Vorzug haben, mitgetheilt, und man wird künftig selbst geringe Unterschiede des zunehmenden oder abnehmenden Glanzes wahrnehmen können¹.

Aber noch merkwürdiger sind die bei manchen Sternen beobachteten periodischen Veränderungen, die darin bestehen, daß ein Stern zuweilen einen hellern Glanz zeigt, dann schwächer glänzend erscheint, wieder zu der vorigen Lichtstärke zurückkehrt und so beständig abwechselnd gesehen wird. Diese Lichtwechsel kehren bei einigen Sternen sehr regelmäsig nach gleichen Zeiten wieder, bei andern² ist die Periode ungleich, noch andere, die ehemals einen Lichtwechsel gezeigt haben, erscheinen jetzt in unveränderlichem Lichte. Unter denen, die eine sehr regelmäsig Periode haben, ist *Algol* im Medusen-haube einer der merkwürdigsten. Er ist ein Stern zweiter Größe und zeigt sich die meiste Zeit als ein solcher, aber allemal nach 2 Tagen 20 Stunden wird er auf kurze Zeit viel dunkler. Nach WURM² dauert die Zeit seines kleinsten Lichtes, wo er Sternen vierter Größe gleicht, nur 18 Minuten, aber einige Stunden vorher und einige Stunden nachher bemerkt man das Abnehmen und Zunehmen seines Lichtes, so daß er etwa $8\frac{1}{2}$ Stunden lang dunkler als sonst erscheint. WURM giebt die mit vieler Genauigkeit zutreffende Periode seines Lichtwechsels zu 2 Tagen 20 Stunden $48' 58''{,}7$ an, und hat darnach Tafeln berechnet, mit deren Hülfe man leicht die Zeit der kleinsten Lichtphase für jeden gegebenen Monat findet. Um zu zeigen, wie nahe diese vor 30 Jahren berechneten Tafeln noch immer mit der Erscheinung übereinstimmen, habe ich einige neuere Beobachtungen nach denselben berechnet. LUTHER³ beobachtete 1820 am 14ten Aug. $9^h 52'$ mittl. Zeit und am 6ten Sept. $8^h 24'$

¹ Ph. Tr. 1796. 166. 1797. 293. 1798. 121. und Astron. Jahrbuch 1809. 201. Aehnliche ältere Beobachtungen Astron. Jahrb. 1821, 209.

² Astron. Jahrb. 1801. 157.

³ Ebend. 1824. 243.

mittlere Zeit das kleinste Licht; diese Zeitpunkte sind in Pariser Zeit $9^h 22'$ und $7^h 54'$. Nach WURM's Tafeln trifft das kleinste Licht nach Anfang d. J. 1800 $1^T 18^h 3' 46''$, 8. Par. mittl. Z. 20 Jahre haben außer ganzen Perioden als ins folgende Jahr gehenden Ueberrest

$$0 \ 23 \ 56 \ 47,6$$

Jan. bis Jul. lassen nach ganzen Perioden einen in den August gehenden Ueberrest

$$0 \ 4 \ 24 \ 23,8,$$

also kleinstes Licht nach Anfang des August

$$\frac{2^T \ 22^h \ 24' \ 58'',2}{\quad}$$

4 Perioden sind

$$= \frac{11 \ 11 \ 15 \ 54,8}{\quad}$$

$$\frac{14 \ 9 \ 40 \ 53,0}{\quad}$$

also sollte das kleinste Licht nach diesen Tafeln am 14. August $9^h 41'$ Abends seyn; aber WURM selbst hat¹ die Epoche um 5 Minuten früher gesetzt, indem seine frühern Tafeln mehr das Ende als die Mitte des kleinsten Lichtes angaben, also giebt die Rechnung $9^h 36'$, statt daß die Beobachtung $9^h 32'$ giebt, welches hier, da eine einzelne Beobachtung nicht auf eine Minute genau ist, vollkommen genügt. Die zweite Beobachtung ist 22 Tage 22 St $32'$ nach der ersten angestellt und 22 Tage 22 St $31' 49'',6$ sind gleich 8 Perioden. Rechnet man eben so für den Juli 1825, so findet man

5 Jul. $18^h 14' 23'',1$ als Zeit des kleinsten Lichts

8 Tage 14 26 56,1 als 3 Perioden gleich,

also am 14 Jul. 8 41 19,2 Pariser Zeit

die Zeit des kleinsten Lichtes. Diese Zeit ist 9 Uhr 40' Breslauer Zeit, und wirklich beobachtete ich, als ich gegen 11 Uhr zufällig meine Aufmerksamkeit auf *Algol* richtete, daß er seinem kleinsten Lichte nahe war, aber wie sich bald zeigte, schon nach der kleinsten Lichtphase.

Dieser so auffallende Lichtwechsel ist doch erst von PIGOTT und GOODRICK 1782 bemerkt worden. Andere veränderliche Sterne sind früher entdeckt worden, z. B. von FABRICIUS 1596 der Veränderliche am Halse des Wallfisches, 1600 ein veränderlicher Stern im Schwan, der oft ganz verschwindet². 1670 wurde ein zweiter veränderlicher Stern im Schwan entdeckt,

¹ Astron. Jahrb. 1810. 140.

² Montucla hist. II. 284. 285

X im Schwan, der nur selten die vierte Gröfse erreicht. OLBERS¹ hat diesen letzten Stern öfter beobachtet und bemerkt, dafs nachdem er ihn 1815 mehrere Wochen vergeblich aufgesucht hatte, er am 29. Aug. sichtbar ward, am 7. Oct. sein größtes Licht hatte und gegen Ende December's wieder eben so unscheinbar, als bei Anfang seines Sichtbarwerdens, war. Seine Periode, die ungefähr 405 Tage ist, hat sich verlängert, so dafs sie jetzt über 407 Tage ausmacht, statt dafs sie am Ende des siebenzehnten Jahrhunderts noch nicht 405 Tage betrug. Ueberhaupt ist die Periode nicht ganz gleich, sondern zuweilen erscheint der Stern etwas eher oder später, zuweilen erreicht er im größten Glanze nur die siebente, selten dagegen auch wohl die vierte Gröfse; 7 Monate ist er ganz unsichtbar, 6 Monate sichtbar. OLBERS bemerkt es als etwas Auffallendes, dafs dieser Stern und dafs mehrere veränderliche Sterne ein sehr rothes Licht haben.

Noch in die Augen fallender als bei diesem Sterne ist der Lichtwechsel des schon erwähnten Sterns im Wallfische, den man den Wunderbaren, *Mira ceti*, genannt hat. Dieser Stern erreicht bei seiner größten Lichtstärke gewöhnlich den Glanz der Sterne dritter Gröfse, zuweilen nur der vierten, aber seltener auch der zweiten und selbst der ersten Gröfse, WARGENTIN hat ihn einmal dem *Aldebaran* gleich gesehen. Der Stern bleibt 3 bis 4 Monate dem blofsen Auge sichtbar, und sein Zunehmen dauert kürzere Zeit, als sein Abnehmen; durch Fernröhre sieht man ihn viel länger, obgleich er auch da zuweilen verschwindet. WURM setzt nach sehr zahlreichen Beobachtungen die Periode zu 332 Tagen und etwa $\frac{3}{4}$ Stunden an, und bestimmt die Zeit des größten Lichtes, oder der Mitte des größten Lichts auf 15. Oct. 1820, wornach diese im Februar 1828 und im Januar 1829 wieder eintreten wird. Die Periode ist nicht genau immer gleich, sondern zuweilen einige Tage länger oder kürzer². Die übrigen als veränderlich bekannten Sterne³ zeigen sich im Wesentlichen diesen ähnlich.

Ueber die Ursache dieser Lichtwechsel hat man mehrere Hypothesen aufgestellt. Die bei mehreren Sternen so bestimmte

1 Astron. Zeitschr. von v. Lindenau etc. II. 181.

2 Ebend. I. 229.

3 Ebend. IV. 185. 316. VI. 282. Astron. Jahrb. 1814. 143.

Regelmäßigkeit der Periode läßt wohl kaum zweifeln, daß eine Axendrehung die Ursache dieser gänzlichen oder theilweisen Verdunkelung ist. Selbst unsere Sonne hat ja Flecken, die freilich zu klein sind, um einen erheblichen Lichtwechsel zu bewirken, und zu veränderlich, um in stets gleichen Perioden gleiche Erscheinungen darzubieten; aber es kann ja Sonnen geben, deren verschiedene Seiten auf immer gleiche Weise ein sehr ungleiches Licht darbieten. Ein dadurch nicht zu erklärender Umstand ist, daß der Fortgang der Lichtabnahme und Lichtzunahme nicht dem gemäß ist, was wir von einer, nach und nach gegen uns gewandten dunkeln Seite erwarten sollten, indem zum Beispiel bei *Algol* die Lichtabnahme ganz nahe vor dem kleinsten Lichte so sehr merklich, kurz nachher die Zunahme so bedeutend ist, aber während des bei weitem größern Theils der Periode der Glanz ziemlich gleich bleibt. Dieses ließe sich besser erklären, wenn wir einen sehr großen dunklen Körper annähmen, der bei seinen Umläufen um den hellen Stern (oder bei den Umläufen des hellen Sternes um ihn) eine förmliche Sonnenfinsternis hervorbrächte; aber diese Erklärung würde doch nicht auf die Sterne passen, die so sehr lange ganz verdunkelt sind, indem doch nicht gut anzunehmen ist, daß diese Verdeckung den größern Theil der Periode ausfüllte. Die Ungleichheiten in der Periode und in den äußersten Graden der Lichtstärke würden sich nach der ersten Hypothese aus Aenderungen auf der Oberfläche des Sterns, nach der zweiten Hypothese aus Ungleichheiten in dem Laufe des verdunkelnden Körpers erklären lassen.

Neue Sterne.

Mit diesem Lichtwechsel der Sterne ist vielleicht das Erscheinen neuer Sterne verwandt. Hätte ein veränderlicher Stern eine sehr lange Periode und wäre die Zeit seines Glanzes nur auf eine kurze Zeit beschränkt, so würde er dem Zeitalter, wo er sich einmal zeigte, als ein neuer Stern erscheinen, und die folgenden Beobachter würden ihn viele Jahre lang vergeblich aufsuchen. Indes haben die Sterne, welche man als neue Sterne beobachtet hat, so viel Auffallendes gezeigt, daß man sie wohl nicht ganz mit den bekannten veränderlichen Sternen in eine Classe stellen darf. Der glänzendste von allen war der von *Tycho* beobachtete. Aller Wahrscheinlichkeit nach muß er

sehr schnell zu dem hellen Glanze, den er zeigte, gelangt seyn, denn MÖSTLIN hatte im October und noch am 2. Nov. 1572 die Cassiopeja beobachtet, ohne etwas Merkwürdiges wahrzunehmen, und schon am 7. Nov. erschien der neue Stern dem Jupiter an Glanze gleich oder größer; am 11. Nov. sah TYCHO ihn der Venus gleich, und so blieb er einige Wochen. Aber nach sehr kurzer Dauer nahm seine Helligkeit ab, im December glich er noch dem Jupiter, im Januar 1573 übertraf er noch die Sterne erster Größe, im Februar und März glich er Sternen erster Größe und nahm nun so ab, daß er im September Sternen vierter Größe gleich war und im März 1574 verschwand. Anfangs war er glänzend weiß, dann roth wie Aldebaran oder Mars, nachher wieder matter weiß ¹.

Einen nicht ganz so glänzenden neuen Stern beobachtete KEPLER 1604 am Fuß des Schlangenträgers, der auch nachher unsichtbar ward ². Auch in ältern Zeiten hat man solche Sterne beobachtet ³, die nachher unsichtbar geworden sind. Wie man diese ungemaine Veränderung ihres Glanzes erklären soll, läßt sich gar nicht angeben; von ZACH bemerkt, sie gäben uns wenigstens die wichtige Belehrung, daß es im Weltraume Körper gebe, die uns gar nicht oder Jahrhunderte lang nicht sichtbar sind. —

Namen der Sterne.

Das hierher gehörige wird unter dem Art. *Sternbilder* vorkommen. Ueber die Bedeutung der arabischen Namen der Sterne haben IDELER, LACH und BUTTMANN (auch MONTUCLA an einigen Stellen seiner Geschichte der Mathematik) Untersuchungen angestellt ⁴. B.

Fixsternverzeichnisse.

Catalogi fixarum; Catalogues des étoiles fixes; *Catalogues of the stars*; sind Verzeichnisse, worin die ein-

¹ Tychonis Brahe Progymnasmata Astron. Lib. I. de Zach corr. astr. V. 182.

² Kepler de stella nova in pede serpentarii.

³ de Zach corr. astr. IV. 585. Astr. Jahrb. 1819. 202.

⁴ Ideler Untersuchungen über den Ursprung und die Bedeutung der Sternnamen. Berlin 1809. 8. Lach Anleitung zur Kenntniß der arabischen Sternnamen. Leipzig 1796. Astr. Jahrb. 1822. 91. Astr. Zeitschr. II. 50.

zeln Sterne nach ihrer Stellung am Himmel, nach ihrer Rectascension und Declination, angemerkt sind. Sie sind entweder nach den Sternbildern geordnet, wo dann diejenigen, die zuerst durch den Meridian gehen, voran stehen, oder sie sind ganz allgemein nach der Rectascension geordnet, so daß man für alle Declinationen die Sterne, welche kurz nach einander durch den Meridian gehen, zusammenfindet. Alle Sternverzeichnisse hier anzuführen, scheint mir nicht dem Zwecke dieses Wörterbuchs gemäß; ich theile daher nur Einiges zur Geschichte dieser Verzeichnisse, und dann die Titel der für uns bemerkenswerthesten mit.

HIPPARCHUS hat zuerst 150 Jahr vor Christo, nachdem TIMOCHARES und ARISTYLLUS schon Beobachtungen dazu gesammelt hatten, ein Verzeichniß beobachteter Sterne gefertigt, und PTOLEMAEUS hat darnach und nach eignen Beobachtungen das Sternverzeichniß gefertigt, welches wir noch jetzt besitzen ¹. ALBATEGNIUS reducirte dieses Verzeichniß auf seine Zeit (880 nach Christo), und ULUGH-BEIGH fertigte eines aus eignen Beobachtungen ². TYCHO DE BRAHE führte die bessere Methode, die Sterne nach Rectascension und Declination aufzuführen ein, statt daß man sie früher nach Länge und Breite angab ³.

Auch der LANDGRAF WILHELM fertigte mit ROTHMANN und BYRGE ein solches Verzeichniß aus eignen Beobachtungen ⁴. HALLEY und LA CAILLE haben uns zuerst genauere Verzeichnisse der Gestirne um den Südpol gegeben ⁵. HEVEL gab die früheren Verzeichnisse mit eignen Beobachtungen vermehrt heraus ⁶, FLAMSTEAD lieferte nach 33jährigen Beobachtungen einen viel vollkommnern Katalog als seine Vorgänger, der 3000

1 *Μεγάλη Σύνταξις*. VII. 2.

2 *Tabulae long. et lat. stellarum fixarum ex observ. Ulughbeighi*. Oxon. 1665.

3 *Catalogus fixarum ad annum 1600*, in den *Astronomiae instauratae Progymnasm.* Frf. 1602. KEPLER nahm dieses Verzeichniß, mit andern Beobachtungen Tycho's und einige Beobachtungen der Sterne um den Südpol vermehrt, in die Rudolphinischen Tafeln auf.

4 *Observ. Hassiacae*. Lugd. Bat. 1618.

5 *Halleji catalogus stellarum australium*. Lond. 1679. und von La Caille *astronomiae fundamenta novissima solis et stellarum observationibus stabilita*. Paris. 1757.

6 *Prodromus Astronomiac*. Gedani. 1690. und *Firmamentum Sobiescianum*. Ged. 1690.

Sterne enthält ¹, und BRADLEY's Beobachtungen vermehrten nicht blofs durch ihre Anzahl, sondern auch durch ihre Vortrefflichkeit in hohem Grade unsere Kenntnifs des Sternenhimmels ². TOBIAS MAYER beobachtete vorzüglich Sterne, die der Ekliptik nahe stehen, und verfertigte daraus einen, erst nach seinem Tode bekannt gemachten Katalog von 998 Zodiacalsterne ³. Unter den neuern Beobachtern haben vorzüglich MASKELYNE ⁴, LALANDE ⁵, PIAZZI ⁶, von ZACH ⁷, BESSEL ⁸, POND ⁹,

1 Halley gab ihn zuerst 1712 heraus und 1725 erschien die zweite Auflage: *Historia coelestis Britannica*. 3 Vol.

2 *Astronomical Observations, made at Greenwich by Bradley*. Oxf. 1798. 2 Vol. Welchen Werth diese Beobachtungen besitzen, hat Bessel gezeigt in seinem vortrefflichen Werke: *Fundamenta astronomiae pro anno 1755, deducta ex obs. viri incomparabilis Bradley*. Regiomonti. 1818.

3 *Catalogus fixarum zodiacalium in Tob. Mayeri opp. inedit*. Vol. I. Dieselben auf das Jahr 1800 reducirt in *Astr. Jahrb.* 1790. 113.

4 *Maskelyne's astronomical observations made at Greenwich*. 2 Vol. vgl. *Astr. Jahrb.* 1808. 246. *Maskelyne's Tables for computing the apparent Places of the fixet Stars*. 1774.

5 *Histoire céleste françoise, contenant les observations, faites par plusieurs astronomes françois publiées par Lalande*. An. IX. (1801.) Für die Reduction der hier angegebenen Sterne besitzen wir mehrere Arbeiten, SCHUMACHER's Sammlung von Hülftafeln. 2tes Heft. Copenh. 1825. Ferner in DE ZACH *Corr. astron.* VII. 340. Ferner in Schumacher's *astr. Nachr.* I. 22. 273.

6 *Praecipuarum stellarum inerrantium positiones mediae, in aeuo seculo 19, ex obs. habitis in specula Panormitana*. Panormi 1803, und neue Ausgabe 1814. Verzeichnifs der geraden Aufsteigung und Abweichung von 5505 Sternen nach Piazzzi's Beobachtungen und von 372 der vornehmsten Nebelflecke und Sternhaufen, zusammengetragen von Bone. Berlin 1805. WESTPHAL's *Astrognosie*, mit einem Auszuge aus Piazzzi's zweitem Katalog. Berlin 1822.

7 *De Zach tabulae motuum solis etc., quibus accedit fixarum praecipuarum catalogus novus*. Gothae 1792 neue Ausgabe 1804. *De Zach Tabulae speciales aberrationum et nutationum ad supputandas stellarum fixarum positiones, cum 494 stellarum inerrantium catalogo novo*. Gothae 1807. *De Zach nouvelles Tables d'Aberration et de nutation pour 1404 étoiles*. Marseille 1812.

8 Bessel's astronomische Beobachtungen auf der Sternwarte in Königsberg. 9 Abtheilungen von 1813 bis 1823.

9 *Pond's astronomical observations*. London. (1814 bis 1821) in 3 Theilen.

STRUVE ¹, LITTRON ² sich um diese Bestimmungen verdient gemacht ³.

Unter denen, welche aus fremden Beobachtungen mit ungemeinem Fleiß zusammengetragen haben, verdient vor allen BODE erwähnt zu werden, der nicht allein dieses gethan, sondern zugleich die fremden Beobachtungen geprüft und mit zahlreichen eignen Beobachtungen die schon vorhandenen Verzeichnisse bereichert und berichtigt hat ⁴.

Wir dürfen hoffen, daß die Reichhaltigkeit der Sternkataloge in Kurzem noch sehr gewinnen wird, da die Berliner Akademie die Mitwirkung aller Astronomen zu einer Revision des ganzen Himmels aufgefordert hat, um besonders die Ungleichförmigkeit zu heben, die bisher noch in unsern Verzeichnissen vorhanden war, da einzelne Gegenden genauer durchforscht waren, während in andern selbst minder kleine Sterne in den Verzeichnissen fehlten ⁵.

Eine besondre Erwähnung verdienen hier noch die Bemühungen für die genaue Bestimmung einiger Fundamentalsterne, durch deren völlig sichere Kenntniß man Anknüpfungspuncte für alle andern Beobachtungen erhält. MASKELYNE hat ein Verzeichniß von 36 solchen genau bestimmten Fundamentalsternen mitgetheilt ⁶, auf deren sorgfältige Beobachtung und immer strengere Berichtigung BESSEL vorzüglich großen Fleiß gewandt

1 Struve observationes astronomicae Dorpati institutae. 4 Vol. (1814 bis 1823.)

2 Annalen der Wiener Sternwarte. 3 Abtheilungen.

3 Auch die Observations astronomiques publiées par le bureau de longitudes, gehören hierher, und mehrere andere, die minder wichtig für diesen Zweck sind.

4 Allgemeine Beschreibung und Nachweisung der Gestirne, nebst Verzeichniß der geraden Aufsteigung und Abweichung von 17240 Sternen, Doppelsternen, Nebelflecken und Sternhaufen, von Bode. Berlin 1801. Fol. Vorstellung der Gestirne auf 34 Kupfertafeln, nebst einem Verzeichnisse von 5877 Sternen, Nebelflecken und Sternhaufen, von Bode. 2te Aufl. Berlin 1805. Nachträge und Berichtigungen dazu an mehreren Stellen in den astronomischen Jahrbüchern.

5 Auch die Astron. Societät in London macht sich um diesen Gegenstand durch Herausgabe eines neuen Katalogs verdient.

6 Naut. Alm. 1820. Astr. Jahrb. 1821. 208. Bemerkungen von Pond über die möglichst strenge Berichtigung der Sternkataloge Phil. Transact. 1818. 405.

hat ¹. Auch POND und BRINKLEY haben sich mit diesen Beobachtungen ernstlich beschäftigt ². Von den Sterncharten wird ein eigener Artikel Nachricht geben. B.

Flächenkraft.

Flächenanziehung und Flächenabstoßung;
Attraction et Repulsion de surface.

Der Ausdruck: *Flächenkraft*, noch mehr *Flächenanziehung*, seltener *Flächenabstoßung* kommt sehr oft bei deutschen Schriftstellern vor, und die Ausländer reden häufig von der Sache, wenn sie dieselbe auch nicht durch ein bestimmtes Wort bezeichnen. Ohne nähere Andeutung ist dann die Flächenanziehung so viel als *Anziehung in unmittelbarer Berührung* oder in unmeßbare Ferne, und äußert sich in den Erscheinungen der *Adhäsion* und *Cohäsion* ³. Man könnte hierdurch zu der Vermuthung verleitet werden, als ob der Ausdruck von der Flächenausdehnung entlehnt sey, in welcher die Berührung beider sich einander anziehender Körper stattfindet, allein dieses würde von der Schärfe der eigentlichen Begriffsbestimmung entfernen. Genau genommen beruht die Sache vielmehr auf Folgendem, wie hauptsächlich aus der Darstellung von FRIES ⁴ am deutlichsten und vollständigsten zu ersehen ist.

Die bekannte Newton'sche Anziehung ist den Massen der einander anziehenden Körper direct proportional, wird daher durch die Quantität der wirksamen Masse bedingt, und kann als im Mittelpuncte der Körper vereinigt angesehen werden. Die Erfahrung ergiebt, dals diese Kraft in jede meßbare Ferne wirkt, und den Quadraten des Abstandes proportional abnimmt. Kommen daher zwei Körper (es mögen dieses Kugeln seyn) einander nahe, so wird ihre Anziehung wachsen, und in der Berührung ihr Maximum erreicht haben; allein die wirksame Kraft geht bei ihnen stets vom Mittelpuncte aus oder kann mindestens als dort vereinigt gedacht werden, und man könnte sie daher auch *Mas-*

¹ Beobachtungen 5te Abth. S. V. und XI. und 7te Abth. S. XXIX. und astr. Jahrb. 1828. 196.

² Astr. Nachrichten I. 101. Astr. Jahrbuch 1828. S. 198.

³ S. unter andern FARROT Grundriß der theor. Phys. I. 44. Entretiens sur la Physique I. 93 ff.

⁴ Mathemat. Naturphilosophie S. 450 ff.

senkraft, *Körperkraft* nennen. Insofern aber die anziehende Kraft vom Mittelpuncte ausgehend oder dort vereinigt angenommen wird, und den Massen proportional ist, kann nicht gesagt werden, daß sie sich außerdem noch in den berührenden Flächen besonders äußere.

Bei einer Menge von Erscheinungen dagegen, namentlich der Adhäsion und Capillarität, haben die Massen durchaus keinen Einfluß, vielmehr ist die wirkende Kraft bloß in einer unmerklich dünnen Fläche vorhanden¹, und sie wird daher mit Recht *Flächenkraft* genannt. Wenn man also genöthigt ist, in Gemälsheit unzweifelhafter Thatsachen eine solche Flächenkraft anzunehmen, so darf man auf allen Fall, in nächster Beziehung auf die bloßen Phänomene, sich dieses Ausdruckes zur Bezeichnung der Erscheinung und der sie unmittelbar bewirkenden Ursache bedienen; bei genauerer Erörterung des Gegenstandes kommen aber zwei wesentliche Fragen in Betrachtung, nämlich *zuerst* ob die sich auf die angegebene Weise äußernde Kraft der Anziehung eine für sich bestehende und von der Massenanziehungskraft wesentlich verschiedene sey, und *zweitens* ob es außer und neben dieser auch noch eine ihr entgegengesetzte abstoßende gebe, so daß also dadurch der Ausdruck: *Flächenkräfte* gerechtfertigt wäre.

Rücksichtlich auf die erstere Frage scheint unter andern hauptsächlich *FRIES* anzunehmen, die Existenz der Flächenkräfte könne durch Hülfe der Geometrie erwiesen werden, allein die Geometrie kann bloß nachweisen, daß die Annahme solcher Kräfte keinen Widerspruch in sich schliesse, und bei vorausgesetzter Möglichkeit die Art und Weise ihrer Wirkungen demonstriren; die wirkliche Existenz aber kann auf diesem Wege nicht bewiesen werden, sondern muß einzig und allein durch die Erfahrung gegeben seyn. Auf gleiche Weise kann die Mathematik die Bewegungsgesetze eines durch hypothetische Kräfte der verschiedensten Art in einem absolut leeren Raume bewegten Körpers demonstriren, auch schulgerecht nachweisen, daß ein gewisses widerstehendes Mittel stets dünner werden und endlich ganz schwinden könne; allein ob es solche Bewegungsgesetze und einen absolut leeren Raum wirklich gebe, ist damit

¹ Vergl. *Capillarität*. II. 39.

noch keineswegs dargethan. So hat L. EULER¹ das Mariotte'sche Gesetz aus dem von ihm angenommenen Aether und dessen Wirbeln in den hypothetischen hohlen Luftkugelchen geometrisch vortreflich demonstriert, aber niemand wird deswegen geneigt seyn, solche Wirbel und Kugelchen wirklich anzunehmen. Die Vertheidiger der Existenz von Flächenkräften behaupten indess, es seyen dieselben durch die Erfahrung gegeben, indem die Erscheinungen der Cohäsion, Adhäsion und Capillarität nur aus ihnen erklärt werden könnten, insofern bei ihnen die Massen gar nicht, sondern nur die Flächen sich als thätig ergäben, und LA PLACE sagt selbst, die Kraft, welche die Erscheinungen der Capillarität erzeuge, liege in der unmeßbar dünnen Oberfläche der Körper. Dieser Beweis würde volle Gültigkeit haben, wenn eine geometrische Fläche noch ein Gegenstand physischer Messung wäre; allein da die Theilchen der Materie erweislich viel kleiner sind, als unsere Messung reicht, so bleibt es immer fraglich, ob die eigentliche geometrische Oberfläche der Körper, und nicht vielmehr eine physische Fläche, oder ein in einer unmeßbar dünnen Ebene liegendes Aggregat von Körperelementen jene Erscheinungen hervorrufe. Wenn dann aber weiter argumentirt wird, daß die Phänomene selbst nichts anderes seyen, als das Resultat einer Anziehung in unmeßbarem Fernen, statt daß die Anziehung der Massen dem Quadrate der Entfernung umgekehrt proportional sey, und daß jene daher mit dem besonderen Namen der Anziehung in der Berührung, die ihr zum Grunde liegende Kraft aber Flächenkraft zu benennen sey, so läuft die Entscheidung hierüber auf die schon wiederholt erörterte Frage hinaus, ob alle Anziehungsphänomene auf eine einzige wirkende Kraft zurückgeführt werden können oder nicht². Wenn gleich hierüber noch nicht mit völliger Gewißheit entschieden ist, so läßt sich doch so viel als ausgemacht annehmen, daß die Erscheinungen der Anziehung in der Ferne von denen der Anziehung in der Berührung erweislich verschieden sind, und daß man auf allen Fall annehmen müsse, eine einzige Kraft werde durch die individuelle Beschaffenheit der in den einzelnen Körpern verschiedenen Elementartheilchen besonders *modificirt*, damit sie beide Wirkungen hervorbringen kön-

¹ Com. Pet. II. 347.

² Vergl. *Anziehung*.

nen, so daß hiernach also der Annahme einer auf eigenthümliche Weise sich äufsernden *Flächenanziehung* und einer hiernach zu benennenden *Flächenkraft* kein bedeutendes Argument entgegenstehen kann.

In Beziehung auf die zweite Frage, nämlich ob es aufser der Anziehung in der Berührung auch noch eine ihr entgegenstehende *Abstoßung* in geringe Fernen giebt, mithin zwei Flächenkräfte anzunehmen sind, ist zuerst zu bemerken, daß verschiedene Schriftsteller nur von *einer* Flächenkraft als Ursache der Cohäsions- und Adhäsions-Phänomene reden, andere, dagegen, z. B. KASTNER ¹, FRIES ² halten die Annahme von *zwei* einander entgegengesetzten Flächenkräften für richtiger. Der Grund, worauf diese Behauptung gestützt wird, ist theils speculativ, insofern einer anziehenden Flächenkraft auch eine abstoßende in Gemäßheit eines nothwendigen Gegensatzes entgegenstehen müsse; theils aus der Erfahrung entlehnt, indem behauptet wird, daß die namentlich bei gasförmigen Körpern stattfindende Repulsion auf gleiche Weise in der Berührung und in unmeßbare Entfernung wirke, als die Attraction, welche die Erscheinungen der Adhäsion und Cohäsion erzeuge, folglich auch mit gleichem Rechte auf eine Flächenkraft zurückzuführen sey, als diese aus einer solchen hergeleitet werde. Was das erste Argument betrifft, so ist dieses ganz unhaltbar, denn die Anziehung in die Ferne ist wohl über allen Zweifel hinaus fest begründet, allein es ist deswegen noch niemanden in den Sinn gekommen, die Nothwendigkeit einer ihr entgegenstehenden Abstoßung demonstrieren zu wollen; das zweite Argument aber beruht auf der Erklärung derjenigen Phänomene, welche die gasförmigen Körper uns darbieten, und auf der Bestimmung der Ursachen, welche den verschiedenen Aggregatzustand der Körper bedingen, je nachdem sie entweder fest oder tropfbar oder elastisch flüssig erscheinen, und wird daher am besten in den Artikeln *Flüssigkeit* und *Gas* näher untersucht werden. *M.*

Flamme; S. Verbrennen.

¹ Grundriß der Experimentalphysik. 2te Aufl. Heidelb. 1820. I. 76.

² Lehrbuch der Naturlehre. Jena 1826. I. 7. Dessen mathematische Naturphilosophie. Heid. 1822. S. 454 ff.

F l a s c h e.

Geladene Flasche, Kleistische Flasche, Leidner Flasche, Ladungsflasche, Verstärkungsflasche; *Phiala Leidensis*, *Phiala electrica*, *Lagena armata*; Bouteille de Leide, Bouteille électrique; *Phial of Leide*.

Wenn man einen dünnen sogenannten idioelektrischen, d. h. nicht leitenden, Körper in solche Umstände versetzt, daß auf den beiden einander gegenüberstehenden Seitenflächen auf der einen Seite sich positive, auf der entgegengesetzten negative E. (welcher Ausdruck der dualistischen Vorstellungsart in die Sprache jeder andern Theorie sich nach dem, was unter dem Artikel: *Elektricität* vorgetragen worden ist, leicht übersetzen läßt) befindet, so heißt der Körper in diesem Zustande geladen. Man wählt hierzu gewöhnlich gläserne Flaschen, deren inneren Wänden die eine, den äußeren die andere E. zugeführt wird, woraus sich der Begriff der geladenen Flasche und der Ladung derselben als desjenigen Vorganges, durch welchen diese Anhäufung entgegengesetzter E. an zwei solchen einander gegenüberstehenden Flächen zu Stande kommt, von selbst ergibt. Man kann aber statt der Flaschen eben sowohl Platten, z. B. eine Tafel von gemeinem Fensterglase, von Holz oder Siegellack wählen, welche alsdann geladene elektrische Platten heißen¹. Ja man kann selbst flüssige Nichtleiter wie Oel, und selbst eine Luftschicht auf diese Art laden. Sobald die E. beider Seiten, welche durch die Zwischenlage des nicht leitenden Körpers getrennt waren, durch irgend ein Mittel vereinigt, oder so nahe zusammengebracht werden, daß sie das zwischenliegende Mittel durchbrechen können, so gehen sie in einander mit einer starken Explosion über, oder (um einen zu jeder Theorie passenden Ausdruck zu gebrauchen) gleichen sich mit einander unter einer solchen Explosion aus. Diese heißt der *elektrische Schlag*, die *elektrische Erschütterung*, und der ihn bewirkende Vorgang die *Entladung*, das *Losschlagen*, so wie der Versuch in seiner Totalität der *Kleist'sche* oder *Leidner Versuch* (*experimentum Leidense*, *expérience de Leide*), und der In-

1 S. Quadrat, elektrisches.

begriff der dabei vorkommenden Erscheinungen die *verstärkte Elektrizität* genannt wird.

Es soll in diesem Artikel zuerst von der Zubereitung und den verschiedenen Arten der Leidner Flaschen, dann von ihrer Ladung, Entladung und den dabei vorkommenden Erscheinungen gehandelt, hierauf die Geschichte des Leidner Versuchs erzählt, die Erklärung der Erscheinungen nach den verschiedenen Theorien gegeben, und der Beschluss mit der Erörterung einiger mit der Leidner Flasche angestellten Versuche, auf welche man sich vorzüglich zur Unterstützung der Theorie einer einzigen el. Materie berufen hat, gemacht werden.

I. Bereitung und verschiedene Einrichtungen der Leidner Flasche.

Der tauglichste Nichtleiter zu den Ladungsversuchen ist unstrittig das Glas. Diejenigen Sorten Glas werden den Vorzug verdienen, welche die besten Nichtleiter sind, also das härtere Glas vor dem weicheren, doch kommt es hierbei auf eine strenge Auswahl nicht an, da auch das weichste Glas durch seine Masse hindurch wenigstens ein vollkommener Nichtleiter ist, und der Fortleitung der E. an seiner Oberfläche durch gewisse demnächst anzugebende Mittel abgeholfen werden kann. Doch sagt CAVALLO ¹, das eine Sorte Glas, die demjenigen gleich kommt, aus welchem die Florentiner Bouteillen gemacht werden, wegen einiger unverglaster Theile in ihrer Substanz nicht die geringste Ladung aushalten. WILKE bemerkt, das weißes Glas bei gleicher Dicke und sonst gleichen Umständen sich nicht so stark laden lasse, als grünes ², und CUTHBERTSON ³ fand, das verschiedene Arten des weißen und noch viel mehr des grünen Glases bei gleicher Dicke und Größe der Belegung ganz verschiedener Mengen von E. bedürfen, um gleich stark geladen zu werden. Die Dicke des Glases kommt hierbei sehr in Betrachtung; ein dünnes Glas kann bei gleicher Oberfläche leichter und stärker geladen werden, als ein dickes, es ist aber auch der Gefahr mehr ausgesetzt, durch die Gewalt, womit sich die E. beider

1 I. 138.

2 Schwed. Abh. XX. 245.

3 Gilb. An. III. S. 27.

Seiten mit einander zu verbinden streben, bei allzustarker Ladung durchbrochen zu werden. Man kann daher die sehr dünnen Flaschen oder Platten zwar einzeln gebrauchen, wenn man aber mehrere mit einander verbinden will ¹, so muß man stärkeres und wohl abgekühltes Glas dazu nehmen. Nach BOHNENBERGER ² sollte man die Glasesdicke der Ladungsflasche nach der Stärke der Maschinen einrichten. Starke Maschinen laden dicke Gläser auf einen hohen Grad, den die dünnen gar nicht aushalten. Durch schwache Maschinen kann man in dicke Gläser gar keine merkliche Ladung bringen. Diese Verhältnisse werden sich weiter unten aus dem Vorgange der Ladung selbst leicht erklären lassen, und es ist ein bloßes Mißverständnis, wenn daraus gefolgert worden, daß dickeres Glas überhaupt eine stärkere Ladung annehme, als dünneres Glas, ein Irrthum, in welchen BOHNENBERGER selbst gefallen war ³.

Der Glimmer hat darin vor dem Glase den Vorzug, daß er auch in den dünnsten Blättchen selbst bei der stärksten Ladung dem Durchbruche der E. widersteht, auch gewährt er eben wegen der Dünneheit, in der man ihn anwenden kann und davon abhängigen großen Capacität den Vortheil, in einem sehr kleinen Raume eine Batterie von großer Wirksamkeit aufstellen zu können, wie denn NICHOLSON ⁴ eine solche Batterie von 12 Glimmerblättchen ausgeführt hat, die zusammen nur eine Dicke von 3 Linien hatten, bei denen die Belegung des einzelnen Glimmerblättchens nur 2 Quadrat Zoll betrug und welche dennoch das Aequivalent von 7 Quadratfuß Belegung von Fensterglas waren; indess ist der Glimmer in unversehrten Platten nicht so leicht zu erhalten und zum gewöhnlichen Gebrauche zu kostbar. Für Batterien nimmt man gewöhnlich große cylindrische oder sogenannte Zuckergläser, die auf Glashütten bis zu einer Höhe von zwei Fuß und selbst darüber, und von einer Weite von 8 bis 12 Zoll verfertigt werden, und entweder gleichweit oder oberwärts etwas verengt sind. Man kann sich indess solcher Flaschen auch einzeln von verschiedener Größe und Weite be-

1 S. Batterie, elektrische.

2 S. dessen Beiträge zur theor. u. prakt. Elektrizitätslehre. 2tes Stück. Stuttg. 1793.

3 S. dessen 5te Fortsetzung von Elektrirmaschinen und el. Versuchen S. 241.

4 Gilb. Ann. XXIII. 272.

dienen. Für kleinere Versuche sind die gewöhnlichen Arzneigläser brauchbar.

Weil das Glas, so wie alle Nichtleiter, die mitgetheilte E. nur zunächst an der berührten Stelle annimmt, und erstere von den einzelnen Punkten aus, an welchen sie dem Glase mitgetheilt wird, sich nur mit Mühe über dessen Oberfläche verbreitet, so muß man die beiden Flächen mit einem recht guten Leiter z. B. Zinnfolie, Gold- oder Silberblättchen, Gold- oder Silberpapier, Messing- oder Eisenfeilspähne u. d. g. überziehen, welches die Belegung derselben genannt wird. Deswegen heißt die Ladungsflasche oft auch die *belegte* oder *armirte* Flasche. Dieses verschafft den Vortheil, daß die mitgetheilte E., wenn sie auch nur auf eine einzelne Stelle geleitet wird, sich dennoch sogleich über die ganze belegte Fläche ausbreitet, und bei der Entladung eben so auf einmal herausgeht. Bei einer solchen Flasche muß auch der Boden CD von außen und innen ^{Fig. 53.} belegt seyn. Die Belegung mit dünner Zinnfolie (sogenanntem Stanniöl) ist unstreitig die beste und läßt sich, wenn die Flasche ganz cylindrisch oder im Obertheile nur wenig verengert ist, sowohl auswärts als auch einwärts mittelst Gummiwassers oder gewöhnlichen Kleisters leicht anbringen, welchen letzteren man nur sehr dünn aufträgt, so daß nirgend Klümpchen oder Luftblasen zurückbleiben. Sogenanntes Silberpapier kann auch sehr gut die Stelle der Zinnfolie vertreten und nach der Erfahrung von JOHN BROOK würde es sogar den Vorzug verdienen, da dieser gefunden haben will, daß Flaschen vor dem Zerbrechen durch einen durch das Glas durchschlagenden Funken am besten gesichert werden können, wenn man die Zinnfolie nicht unmittelbar auf das Glas leime, sondern erst mit gewöhnlichem Schreibpapiere und darauf mit der Zinnfolie die Flasche belege. Daß Flaschen oder Glastafeln durch eine weit geringere Ladung, gleich nachdem sie belegt und also ehe sie trocken geworden sind, zersprengt werden, als wenn sie schon lange genug gestanden haben, so daß die Flüssigkeit aus dem Gummi oder Kleister, womit die Zinnfolie aufgetragen wird, hat verdunsten können, und daß man eben deswegen die Flaschen nicht gleich nach ihrer Belegung anwenden dürfe, wie BROOK ¹ gefunden haben will, habe ich nicht bestätigt gefunden, doch

1 G. I. 276.

habe ich diese Versuche vergleichungsweise nur bei Flaschen von dickem Glase angestellt.

Hat die Flasche, wie namentlich die Medicingläser, einen dünnen Hals, so läßt sich dieselbe auf der inneren Fläche nicht so wie außen mit Stanniol belegen. In diesem Falle füllt man kleine Flaschen, so weit die Belegung gehen soll, mit Eisen oder Messingspähen, auch mit Schrot oder einer gesättigten Auflösung von Kochsalz an, in größeren aber, die dadurch etwas zu schwer würden, gießt man etwas Gummiwasser, schüttelt ein wenig Messingspähe hinein, und schwenkt die Flasche, bis sich die Spähe dicht an die inneren Wände angelegt haben, wo sie durch das Gummiwasser ankleben. Die innere Seite solcher enghalsigen Flaschen mit einem Kite aus Pech, Harz und Wachs, welcher mit einer großen Menge von Messingfeilicht versetzt ist, zu belegen, den man in Stücken hineinbringt, und durch Schmelzen, so weit man will, auf der inneren Fläche verbreitet, ist darum nicht rathsam, weil nach Brook das Glas dann schon durch eine schwache Ladung zersprengt wird. Einer Beobachtung zufolge sollen Flaschen aus grünem Glase, welche 2 Kannen faßten, inwendig mit Eisenfeilspähen belegt, und mit Wasser noch etwas über diese hinaus angefüllt, und von außen mit unächten Silberblättchen belegt waren, eine besonders starke Ladung annehmen¹.

Die Belegungen beider Seiten des elektrischen Körpers dürfen einander am Rande nicht nahe kommen, sondern müssen durch einen unbelegten Raum des Glases von hinlänglicher Weite von einander abstehen, weil sich sonst die entgegengesetzten E. schon im ersten Anfange der Ladung über den Rand hinweg mit einander vereinigen würden, und die Ladung nie zu einem merklichen Grade getrieben werden könnte. Die Ausdehnung des unbelegten Theiles, welcher bei der Flasche den

Fig. 58. Raum zwischen EF und GH sowohl außen als innen einnimmt, muß sich überhaupt nach der Glasesdicke der Flasche, der Größe der Batterie, zu welcher solche Flaschen genommen werden, und der Stärke der Elektrirmaschine richten. Ist die Maschine von der Beschaffenheit, daß man, wenn sie eine Batterie von 10 bis 12 Quadratfuß Belegung vollständig laden soll, nur Flaschen von der Dicke der gewöhnlichen Zuckergläser

1 G. XXIV. 330.

laden kann, so ist es genug, wenn man den unbelegten Rand nur zwei Zoll hoch macht, denn dergleichen Gläser sind immer schon stark genug geladen, wenn es so weit gekommen ist, daß eine Selbstentladung erfolgen kann, und dieses wird dem Experimentator minder unangenehm seyn, als wenn bei größerer Ausdehnung des unbelegten Randes eine Flasche zersprengt würde. Hat hingegen die Maschine eine größere Stärke, so daß man 20 bis 30 Quadratschuh Belegung, wo die Gläser zu gleicher Zeit dicker als gewöhnlich sind, damit zu laden im Stande ist, so darf man den unbelegten Rand des Glases nicht unter drei Zolle seyn lassen. Besitzt endlich die Maschine soviel Wirksamkeit, daß sie 50 und mehrere Flaschen, deren Glasesdicke 2 Linien beträgt, vollständig laden kann, so muß der unbelegte Rand nicht unter 4" hoch seyn, weil sonst eine Selbstentladung erfolgt, ehe die Batterie das Maximum ihrer Ladung erreicht hat. Es ist sehr rathsam, den unbelegten Raum EGBHF durch einen Ueberzug von Siegelack gegen die Feuchtigkeit zu schützen, auch giebt dieser Ueberzug den Flaschen, so wie der ganzen el. Geräthschaft ein sehr nettes, reinliches Ansehen. Das Siegelack wird hierzu im Mörser zerstoßen, höchst rectificirter Weingeist aufgegossen und der daraus entstandene Brei mit dem Pinsel auf das Glas getragen, das man vorher erwärmt hat. Auch ist Bernsteinfirnis zu diesem Zwecke sehr tauglich. BROOK¹ wollte beobachtet haben, daß sich dieselbe Flasche viel stärker laden lasse, und die Selbstentladung viel später eintrete, wenn der unbelegte Rand statt recht trocken und rein zu seyn, vielmehr etwas beschmutzt sey, und zwar bestimmt er den Grad und die Art dieser Beschmutzung dahin, daß man etwas flüssiges Oel oder irgend eine andere nicht leitende, an dem Glase dünne anhängende Substanz z. B. die unmerkliche Ausdünstung der durch Bewegung erhitzten Hand, (die auch einigermaßen öligter Natur ist) über die Oberfläche des unbelegten Glases reibt, wovon sich der Nutzen besonders dann zeigen werde, wenn der el. Apparat sich in einem warmen und trockenen Zimmer befinde, aber viel weniger in einer kalten Stube, wo weder eingeheizt wird, noch die Sonne hinein scheint. Dieser Einfluß eines Ueberzuges mit einer solchen leitenden (öligten) Substanz auf Verstärkung der Ladung läßt

1 a. a. O. S. 82.

sich allerdings begreifen, da trockenenes, vorzüglich aber erwärmtes Glas der E. an seiner Oberfläche keinen so großen Widerstand leistet und eine Selbstentladung längs derselben daher früher erfolgen kann, als bei jenem Ueberzuge.

Dagegen ist die Beobachtung CUTHBERTSON's, daß die Ladung sehr verstärkt werden könne, wenn der unbelegte Rand mit einem feinen Ueberzuge von Dunst und Staub bedeckt sey, dem ersten Anscheine nach mit den bewährten elektrischen Gesetzen weniger in Uebereinstimmung zu bringen. CUTHBERTSON bemerkt nämlich¹, er habe gefunden, daß die Flaschen allezeit eine stärkere Ladung ertrugen, wenn er sie nicht abtrocknete und abrieb. Bei feuchter Witterung sey die Ladung stärker gewesen, als bei trockener, und bei sehr trockener Witterung, wo sich die Flaschen nicht stark laden ließen, habe er die Ladung immer höher treiben können, wenn er in die Flaschen hineingeathmet habe. Doch führt er weiter hin² an, daß nur ein bestimmter mäßiger Grad von Feuchtigkeit diesen Dienst leiste, und bei zu vieler derselbe wieder verloren gehe, wie dann eben darum in Holland, vorzüglich im Winter, wo überflüssige Feuchtigkeit in der Luft sey und die Maschinen nicht sehr stark wirken, es unmöglich sey eine Batterie von etwas ansehnlicher Größe zu laden. Der Uebersetzer, welcher stets die Flaschen mit überfirnistem Rande besser laden konnte, als diejenigen, deren Rand mit Feuchtigkeit beschlagen war, meint, das Anhauchen unter den oben angegebenen Umständen habe nicht sowohl durch die Schicht Feuchtigkeit, die dadurch an das Glas gebracht sey, sondern durch das Anhängen der Staubtheilchen, die sich in jedem Zimmer befinden, und das dadurch vermittelt worden, jenen Dienst geleistet, während die dünne Schicht Feuchtigkeit sich durch die Verdunstung bei trockener Witterung wieder verloren habe, denn er habe schon lange gefunden, daß eine ganz neu mit Siegellack überzogene Flasche anfänglich nicht so gute Dienste that, als nach einiger Zeit, auch daß sie sich dann außerordentlich stark laden ließ, ungeachtet sie voll feinen Staubes lag. Indefs hat CUTHBERTSON³

1 S. dessen 3te Fortsetzung seiner Abhandlung von der Elektrizität d. Uebers. Leipz. 1796. S. 102.

2 S. 134. 135.

3 G. III. 1.

durch spätere Versuche seine frühere Beobachtung bestätigt, indem er fand, daß dieses Hineinhauchen bei recht trockenem Wetter die Fähigkeit der Flaschen, eine stärkere Ladung anzunehmen, in dem Verhältnisse von 21:15 verstärkte, auch eine Erklärung davon gegeben, auf welche ich in der Theorie der Leidner Flasche zurückkommen werde. Auch VAN MARUM¹ bestätigte diese Erfahrungen, indem er fand, daß seine Batterie unmittelbar nachdem er sie in den Sonnenstrahlen erwärmt hatte, keine so starke Ladung annahm, als einige Stunden nachher, wo der unbelegte Theil der Flaschen in dem stets feuchten Saale der Teyler'schen Stiftung leicht durch Verdichtung von Dunst beschlagen seyn konnte.

Ein wichtiger Theil der Zubereitung einer Flasche ist die vollkommene Zuleitung der E. zur innern Belegung und eine solche Vorrichtung des Zuleiters zu derselben, daß jene so wenig als möglich zum Ausströmen der E. Veranlassung gebe. Bei Gläsern, die mit einem engen Halse versehen sind, verschließt man gewöhnlich die Oeffnung mit einem genau einpassenden, in zerlassenes Wachs getauchten Korkstöpsel. In diesen Stöpsel wird ein Loch gebohrt und ein starker messingner Draht hindurchgesteckt, welcher unten mit einigen dünnen federnden Messingdrähten versehen ist, die sich im Innern vermöge ihrer Federkraft ausbreiten und an die innere Belegung etwas anstemmen. Ist die Flasche inwendig mit Metallspähnen oder Schrot gefüllt, so ist es hinreichend, den einfachen Draht bis in diese Füllung hinabgehen zu lassen. Oben muß der Draht 6 bis 8 Zoll über die Flasche hervorragen, bei A bekommt er einen Knopf oder eine Kugel von etwa $\frac{3}{4}$ Zoll Durchmesser bei kleineren Flaschen. Es ist sehr bequem, wenn der Draht oben spitz gemacht, etwas unter der Spitze aber mit Schraubengängen versehen wird, so daß man die hohle Kugel A nach Gefallen auf- und abschrauben kann. Bisweilen wird auch der Draht am obern Ende krumm gebogen, um die Flasche daran aufzuhängen. Bei Zuckergläsern mit weiter Mündung, wie man sie gewöhnlich zu Batterien gebraucht, ist obige Einrichtung nicht anwendbar. Deckel von mit Siegellack überzogenem Holze oder Korke, wodurch man den Zuleitungsdraht steckte, die sonst in Gebrauch waren, hat man mit Recht verworfen, weil

1 G. I. 81. Aum.

sie zu viel Gelegenheit zur Zerstreung der B. geben. Einen mit Stanniol überzogenen Kork oder hölzernen Fuß auf den Boden der Flasche aufzukitten, in welchen man den Zuleitungsdraht einschraubte, ist theils beim Aufkitten mit Gefahr für die Flasche verbunden, theils mit der Unbequemlichkeit, daß der Fuß leicht wieder losgeht. Die von v. MARUM angegebene Einrichtung¹ verdient daher in jeder Hinsicht den Vorzug. Man

Fig. 54. läßt sich cylindrische Stangen von Holz fertigen, wie ab von der Dicke von $\frac{2}{3}$ Zoll und von einer Länge, die durch die Höhe der Flaschen bestimmt wird. Jede Stange ist auf eine runde Scheibe c von 4,5 Z. Durchmesser befestigt, und auf ihr oberes Ende wird ein Messingrohr d e gepafst, auf welches die Kugeln fe, die bei sehr großen Flaschen, besonders wenn sie zu Batterien gebraucht werden, anderthalb Zoll im Durchmesser haben kann, aufgeschraubt oder auch nur aufgesteckt wird. Vier Messingdrähte von 0,5 Linien Dicke, die den untern Theil des Messingrohrs berühren, und längs der hölzernen Stange hinaufgehen, laufen über die Oberfläche der Scheibe c hinweg, so daß sie mit dem belegten Boden des Glases in Berührung kommen. Jede hölzerne Stange ist oberwärts mit einer ähnlichen hölzernen runden Scheibe gg wie unterwärts von 4,5 Zoll Durchmesser versehen, bis auf welche das Messingrohr d hinabreicht. Diese

Fig. 55. Scheibe hat drei einen halben Zoll dicke längliche Holzstücke, h, h, h, die an ihrer untern Fläche durch Streifen von Leder i, i befestigt sind, welche letztere statt Charnieren dienen. Auf jeder dieser Latten ist ein Ring oder eine Oehse k, k von Messingdraht befestigt, die bei der horizontalen Lage der Latten durch den Einschnitt in der hölzernen Scheibe g hindurchgeht. Indem in dieser Lage die Oehse ungefähr $\frac{1}{4}$ Z. über die obere Fläche der Scheibe hervorragt, kann man jede der Latten in ihrer horizontalen Lage befestigen, indem man ein kegelförmiges zugeschnittenes Holzstäbchen durch die Oehse hindurchsteckt. Die Holzstäbe oder Latten h, h haben gerade die Länge, daß wenn sie in ihrer gehörigen Länge horizontal in dem Glase ausgestreckt sind, sie die innere Belegung des Glases berühren. Um die Stange mit dem Zuleitungsrohre in die Flasche einzubringen und zu fixiren, läßt man die Holzstäbe h, h an ihren ledernen Charnieren i, i herabhängen, nachdem man vorher kleine Bind-

1 Seconde Continuation p. 108.

faden an die Ringe k, k befestigt hat, die durch die Einschnitte der Scheibe g hindurchgehen. Hat man so die Stange mit den Scheiben hineingebracht, so zieht man die Bindfäden in die Höhe, bis die Holzlatten horizontal ausgestreckt sind, und wenn man sie dann mittelst der durch die Ringe durchgesteckten Keilchen befestigt hat, so ist die Stange selbst in ihrer perpendicularen Lage fixirt. Damit die Scheibe g und die Holzstücke h, h gleichfalls mit zur Ladung des obern Theiles der Flaschen dienen können, sind sie, so wie auch die untere Scheibe, mit Stanniol überzogen. Man übersieht leicht, daß durch diese Einrichtung eine sehr innige und ausgebreitete Verbindung des Zuleiters mit der innern Belegung vermittelt ist, und daß diese Einrichtung für jede Art von Zuckergläsern sowohl für die vollkommen cylindrischen als auch für die mit oben verengerter Mündung paßlich gemacht werden kann. Wenn auch der innere Umfang kein vollkommener Kreis ist, so wird man bei der Drehung der Stange doch immer eine Lage finden, in welcher wenigstens zwei der Holzstäbe h, h sich an die innere Wand anstemmen, und dadurch in genaue Berührung mit der innern Belegung kommen, worauf so sehr viel bei der Ladung und Entladung ankommt. Die Holzstangen müssen eine hinlängliche Länge haben, damit das Messingrohr mit seiner Kugel wenigstens noch 6 Zoll über die Mündung der Flasche hervorstehe. Aus eigener Erfahrung habe ich diese Einrichtung sehr praktisch gefunden.

Man sieht übrigens leicht ein, daß sich die beschriebene Einrichtung der Ladungsflaschen in Nebenumständen noch mannigfaltig abändern läßt. PRIESTLEY¹ hat Flaschen von allerlei Gestalt abbilden lassen. Zu etwas größeren Versuchen haben aber stets die großen Zuckergläser den Vorzug, und mehrere kleinere Flaschen von gleicher Größe der Belegung aller zusammen genommen, als die einer einzelnen, lassen sich auch bei gleicher Glasdicke nie so stark laden, wie letztere, weil die Gelegenheiten zur Zerstreuung der E. bei ihnen nothwendig vielfältiger vorkommen müssen.

Wenn die Ladungsflaschen einen Sprung bekommen, so sind sie zum ferneren Gebrauch untauglich, jedoch giebt CA-

1 Geschichte der Electricität Taf. II. Fig. c - k.

VALLO¹ folgende Methode an, sie wieder brauchbar zu machen. Man nehme vom zerbrochenen Theile die äußere Belegung ab, erwärme die Flasche an der Lichtflamme (wo aber der Riß sich sehr leicht weiter verbreiten kann), und tröpfe brennendes Siegelack darauf, so daß der Sprung damit bedeckt wird und das Siegelack dicker aufliegt als das Glas selbst dick ist. Endlich bedecke man das Siegelack und einen Theil der Glasfläche mit einer Mischung von 4 Theilen Wachs, einem Theile Pech, einem Theile Terpentin, und sehr wenig Baumöl, die man auf ein Stück Wachstaffet streicht und wie ein Pflaster auflegt, worauf man die Flasche von neuem belegt. Nach J. P. FOLKES's Erfahrungen soll es sogar schon zureichen, daß man auf die Stelle der Flasche, wo sie gesprungen ist, nachdem man zuvor die äußere Belegung abgenommen hat, gewöhnliches Siegelack $\frac{1}{8}$ Zoll dick warm aufstreicht². Auch BROOK³ hat einen Kitt angegeben, der auf die zersprungene Stelle aufgetragen so wirksam seyn soll, daß bei derselben Flasche ein neuer Durchbruch nicht leicht an der verkitteten, sondern an einer neuen Glasstelle erfolgen wird. Man nimmt 3 Unzen von spanischem Weißs, und erhitzt sie, um alle Feuchtigkeit zu verjagen, in einer messingnen Kelle sehr stark. Wieder abgekühlt wird dieses durch ein sehr feines Haarsieb durchgeseiht, hierauf werden drei Unzen Pech, $\frac{3}{4}$ Unzen Kolophonium und $\frac{1}{2}$ Unze Wachs hinzugethan. Das Ganze wird alsdann über einem schwachen Feuer unter häufigem Umrühren fast eine Stunde lang im Fluß erhalten, bis es ziemlich heiß geworden ist. Dann nimmt man es vom Feuer und setzt das Umrühren fort, bis die Masse kalt geworden und zum Gebrauch fertig ist. Nach abgenommener Belegung trägt man diesen Kitt auf die zerbrochene Stelle auf, und belegt diese auf's Neue.

Statt des Glases hat man wegen der Zerbrechlichkeit derselben Flaschen von Porcellan in Vorschlag gebracht, die aber nicht viel weniger zerbrechlich sind. Zu Platten, wozu man aufser dem Glase auch Harz-Compositionen, Schwefel und Siegelack anwendet, hat BECCARIA eine Composition von Kolophonium und gestofsenem Marmor vorgeschlagen, welche zu

1 Ph. Tr. Vol. 68. P. II. No. 44. auch vollst. Unterricht I. 170.

2 Cuthbertson 1r u. 2r Theil, S. 302.

3 a. a. O. S. 70.

gleichen Theilen zusammengeschmolzen und auf eine mit Zinnfolie bedeckte Tafel gegossen werden. Viele Versuche dieser Art hat WILKE¹ angestellt, namentlich mit gestoßenem Schwefel, mit einer dichten Schwefel Tafel, mit Lack, Pech und Wachs, welche in bleiernen Formen zu Tafeln geschmolzen waren, mit einem Buche wohl ausgetrockneten Papiers, mit Baumöl, das in einer bleiernen Form sich befand, endlich mit einer Luftschicht. Das Oel nahm hierbei nur eine schwache Ladung an, der Lack bei gleicher Dicke die stärkste und behielt sie auch an längsten. Kleine Risse in den Tafeln hinderten alle Ladung.

Da die gewöhnlichen Flaschen ihre Ladung nur kurze Zeit halten, so hat CAVALLO² eine Einrichtung angegeben, welche die Ladung über 6 Wochen lang halten soll, und welche unter dem Namen der *Sperrflasche* bekannt ist. Außer der äußern und innern Belegung, welche die Flasche mit allen andern gemein hat, ist in ihrem Halse eine an beiden Seiten offene Glasröhre eingekittet, und diese reicht ein wenig in die Flasche hinein. Sie hat am untern Ende einen Draht, der die innere Belegung berührt. Die gleichsam andere Hälfte des Zuleitungsdrahtes mit dem Knopfe ist in eine andere Glasröhre gekittet, welche fast doppelt so lang, aber enger als die vorerwähnte ist, und zwar so, daß an einem Ende bloß der Kopf, am andern Ende nur etwas wenig vom Draht hervorragt. Diese Glasröhre kann man nach Gefallen in die andere hineinstecken, wobei das untere Ende des Drahtes jenen an dem ersten Rohre befindlichen Draht oder noch besser die innere Belegung selbst berühren muß. Ist diese zweite Röhre in der angegebenen Lage, so kann man die Flasche auf die gewöhnliche Weise laden und entladen. Nimmt man aber nach der Ladung die zweite Röhre mit dem Knopfe und Drahte heraus, so ist die innere Belegung ganz isolirt, und man kann so die Flasche geladen bei sich tragen oder versenden, ohne daß sie die Ladung sobald verlore. DONNDORF³ beschreibt diese Flasche mit einigen kleinen Abänderungen umständlich, giebt auch⁴ noch eine ähnli-

1 Schwed. Abh. für 1758. XX Bd. d. d. Uebers. 241.

2 a. a. O. I. 324.

3 Lehre von der E. Erf. 1784. I Bd. S. 54.

4 Ebend. S. 61 f.

che Einrichtung für etwas größere Flaschen an. Auch SINGER¹ hat eine Einrichtung zu einer Sperrflasche angegeben, die aber das Unbequeme hat, daß man beim Laden die Flasche umkehren muß. Uebrigens lassen sich mancherlei Einrichtungen einer solchen Sperrflasche leicht ausdenken.

II. Ladung, Entladung und dabei vorkommende Erscheinungen.

1. Ladung und Erscheinungen derselben.

Die Ladung der el. Platten und Flaschen besteht im Allgemeinen darin, daß man der einen Belegung oder Seite die positive oder negative E. mittheilt und in derselben anhäuft unter Verhältnissen, unter welchen sich in der entgegengesetzten Belegung die entgegengesetzte E. anhäufen kann. Ueber die hierbei statt findenden Erscheinungen und überhaupt den ganzen Vorgang wird man am gründlichsten belehrt, wenn man ein Elektrometer zu Hülfe nimmt.

a. Der einfachste Fall der Ladung einer Flasche ist, daß man dieselbe mit einer Hand an ihrer äußeren Belegung anfasset, und mit ihrem Knopfe in eine Entfernung von ungefähr einem halben Zolle von dem Conductor einer in Bewegung gesetzten Elektrirmaschine bringt; es wird eine Folge von Funken in dieselbe überspringen, die nach und nach schwächer werden und endlich aufhören. Bringt man die Flasche näher, so werden abermals Funken in dieselbe übergehen, und um den Process bis zu seinem Maximum zu treiben, muß man die Flasche mit dem Conductor der Maschine in Berührung bringen, was überhaupt vom Anfange an die günstigste Bedingung für die Ladung ist. Wenn man den Versuch unter Anwendung eines Adams'schen Ladeelektrometers² anstellt, so beobachtet man folgendes. Wird das Elektrometer auf den ersten Leiter aufgesteckt, und die Elektrirmaschine ist nur einigermaßen wirksam, so zeigt dasselbe, noch ehe die Scheibe eine ganze Umdrehung durchlaufen hat, das Maximum von Spannung, d. h. der mit der Kugel versehene bewegliche Metalldraht steigt auf 90°. Wird aber dann die Flasche mit demselben Leiter in Ver-

¹ a. a. O. S. 74.

² S. *Elektrometer* III. 675.

bindung gebracht, so sind nach Verhältniß der Größe der Belegung mehr oder weniger Umdrehungen erforderlich, ehe das Elektrometer dieselbe Spannung erreicht. Es versteht sich von selbst, daß derselbe Erfolg eintritt, wenn das Elektrometer auf den Knopf der belegten Flasche selbst aufgesteckt ist, deren Zuleiter und die mit ihr verbundene innere Belegung demnach freie el. Spannung zeigen, die mit der Ladung zunimmt, und die durch das Elektrometer angezeigt wird. Je größer die Belegung ist, oder je mehrere mit einander verbundene Flaschen zugleich geladen werden, desto mehr Umdrehungen der Maschine sind nöthig, damit das Elektrometer das Maximum von Spannung erhalte, welches dasselbe überhaupt anzunehmen vermag. Das Elektrometer wird unter keinen Umständen auf eine höhere Spannung getrieben werden können, als dasselbe auch auf dem bloßen ersten Leiter, wenn keine Ladung vorgenommen wird, anzunehmen im Stande ist, und bei der Ladung von großen Batterien wird es selbst diesen höchsten Grad von Spannung selten erreichen, sondern etwas niedriger z. B. auf 70° oder 80° stehen bleiben, wie lange man auch das Umdrehen der Maschine fortsetze.

b. Wenn unter sonst günstigen Umständen für die Ladung z. B. bei trockener kalter Luft, das Elektrometer nicht weiter mehr steigt, so wird man, wenn nicht etwa eine Selbstentladung erfolgt, stets ein deutliches Zischen der aus dem Knopfe der Flasche oder dem Stiele desselben ausströmenden E. vernehmen, welches im Dunkeln mit der Erscheinung eines Feuerpinsels verbunden ist, und die Flasche oder Batterie ist dann auf ihr Maximum geladen.

c. Um die Ladung zu bewirken, ist es eben nicht nöthig, die Flasche in der Hand zu halten, sondern man kann die dadurch vermittelte und zur Ladung unter diesen Umständen nothwendige Verbindung mit dem Erdboden auch dadurch bewirken, daß man die Flasche auf einen Tisch setzt. Zur schnelleren Ladung großer Flaschen, vorzüglich aber der größern Batterien, ist es indess nothwendig, die Communication mit dem Erdboden noch freier zu machen, indem man eine Kette oder einen Draht von der äußern Belegung aus mit dem nach dem Erdboden führenden Drahte der Elektrisirmaschine in Verbindung setzt. Bedient man sich einer Kette, um die Zuleitung von dem Conductor nach dem Knopfe zu machen, so muß man

wohl darauf sehen, daß die Glieder derselben überall genau zusammengelöthet und von hinlänglich dickem Drahte seyen, weil ein zu dünner Draht oder die rauhen Enden der Glieder zum frühern Ausströmen Veranlassung geben.

d. Bei dieser Art der Ladung zeigt nur die *eine* Belegung freie Spannung, da die *andere* wegen ihrer Verbindung mit dem Erdboden stets auf 0 bleibt.

e. Alle Erscheinungen zeigen sich auf dieselbe Art, wenn man statt positiv zu laden, negativ ladet, d. h. wenn man mit dem Knopfe der Flasche den isolirten Knopf des Reibzeugs berührt, während die äußere Belegung mit dem Erdboden in Verbindung ist. Eben so zeigen sich alle Erscheinungen auf dieselbe Weise, wenn man die äußere Belegung an den Conductor der Maschine legt, während man die Flasche am Knopfe hält, nur zeigt dann die äußere Belegung die freie el. Spannung und die innere Belegung mit dem Zuleiter zu derselben Zeit nach aufsen 0.

f. Statt die eine Belegung mit dem Erdboden in Verbindung zu setzen, kann man die Ladung eben so bewirken, wenn man den beiden Belegungen die entgegengesetzte E. aus zwei Elektrizitätsquellen unmittelbar zuführt, ein Verfahren, welches den ganzen Proceß der Ladung in ein vorzüglich helles Licht setzt. Dieses läßt sich bei der jetzt allgemein eingeführten Einrichtung der Elektrisirmaschinen, nach welcher das Reibzeug mit einem eigenen isolirten Conductor versehen ist, leicht dadurch bewerkstelligen, daß man die innere Belegung der übrigens vollkommen isolirten Flasche mit dem positiven, die äußere mit dem negativen Conductor oder umgekehrt in Verbindung bringt. Hierbei wird sich nun, verglichen mit dem ersten Hauptfalle (a) der Unterschied ergeben, daß beide Belegungen freie el. Spannung von gleicher Stärke, wenn in der Größe und Form des negativen und positiven Conductors soviel möglich Gleichheit beobachtet ist, zeigen, daß ferner mehrere Umdrehungen der Maschine erforderlich seyn werden, um dieselbe Flasche auf dieselbe Spannung, mit dem gleichen Elektrometer geschätzt, zu laden, daß folglich auf diese Art geladen dieselbe Flasche bei demselben Stande des Ladungselektrometers, eine größere und zwar, wie sich aus der Theorie der Ladung ergeben wird, eine doppelt so große Ladung hat. Bei dieser Art der Ladung kann man sagen, daß die Flasche sich durch ihre eigene E. lade, da die positive E., wel-

che aus der mit dem Reibzeuge verbundenen Belegung in dieses, und sofort in den positiven Leiter übergeht, von diesem der Belegung, womit letzterer verbunden ist, allmählig zugeführt wird.

g. In den beiden Hauptfällen a. und f. befindet sich die Flasche unter solchen Umständen, dafs, indem der einen ihrer Belegungen E. zugeführt wird, die andere im gleichem Verhältnisse damit gleichnamige E. abgeben und die entgegengesetzte aufnehmen kann. Dafs dieses wirklich während der Ladung statt finde, und nothwendige Bedingung zur Ladung sey, beweiset die Anstellung des Versuchs mit einer isolirten Flasche. Hängt man die Flasche durch eine Kette oder einen Haken an den ersten Leiter, so dafs sie übrigens in der Luft vollkommen isolirt ist, und wird nun abermals das Ladungs-Elektrometer auf den Conductor aufgesteckt, so sind nicht, wie in a., mehrere Umdrehungen der Maschine nöthig, um das Elektrometer auf das Maximum der Spannung zu bringen, sondern diese wird, besonders wenn die Gröfse der Belegung der Flasche gegen die Oberfläche des Conductors der Maschine nicht sehr in Betracht kommt, eben so schnell eintreten, als wenn die Flasche gar nicht damit in Verbindung wäre, und die Flasche wird auf die weiter unten angegebene Weise untersucht, keine merkliche Ladung zeigen. Ist jedoch die äufere Belegung der Flasche nicht allenthalben eben und glatt, sondern hat sie Spitzen und rauhe Stellen, so kann doch in diesem Falle eine schwache Ladung eintreten, besonders wenn die Luft feucht ist. Dieses wird um so eher geschehen, wenn man die Flasche statt durch die Luft zu isoliren, auf einen Harzkuchen stellt, besonders wenn derselbe hie und da kleine Risse hat. Wird die Flasche nach der letzten Art des Verfahrens auf eine so vollkommen als möglich isolirende Grundlage, also z. B. auf einen hinlänglich grofsen, recht glatten, und ebenen, Harzkuchen gestellt, und mit ihrem Knopfe dem ersten Leiter etwa auf einen halben Zoll genähert, und der äufseren Belegung auf dieselbe Weite entweder der Knöchel des Fingers, oder auch ein mit einem Knopfe versehener Messingstab, den man in der Hand hält, genähert, und die Maschine in Bewegung gesetzt, so schlagen eben so wie aus dem Conductor der Maschine auf den Knopf der inneren Belegung aus der äufseren Belegung auf den Knöchel oder jenen Knopf fortdauernd Funken über, und so wie die Funken vom Conductor aus kleiner werden, und der Knopf demselben darun-

mehr und mehr genähert werden muß, so muß auch der Knöchel oder jener Messingleiter der äußeren Belegung mehr und mehr bis zur unmittelbaren Berührung genähert werden. Wird die Flasche positiv geladen, so ist die dem Knöchel oder dem messingenen Leiter mitgetheilte E. gleichfalls positiv, im entgegengesetzten Falle negativ, so daß für den ersten Anschein die zur innern Belegung geführte E. gleichsam durch das Glas hindurch zu dringen scheint, wenn nicht schon allein der Umstand, daß die Funken immer kleiner werden, und endlich ganz aufhören, obgleich die Maschine fortdauernd umgedreht wird, auf einen ganz andern Ursprung jener Funken hindeutete.

Man nehme nunmehr. Mit der aus der äußeren Belegung entweichenden E. läßt sich eine zweite, von dieser aus eine dritte und so fort laden, wobei alle Flaschen einer solchen Reihe vollkommen isolirt seyn können, wenn nur für eine gehörige Verbindung ihrer äußeren Belegung mit der innern der nächstfolgenden gesorgt ist, und die äußere Belegung der letzten entweder mit dem Erdboden oder dem isolirten Reibzeuge der Maschine, an deren positiven Conductor die erste Flasche der Reihe geladen wird, in Verbindung gesetzt ist. Ist kein Luftzwischenraum zwischen den zusammengehörigen Belegungen der auf einander folgenden Flaschen, so geht der Vorgang der Ladung aller Flaschen ganz stille vor sich, im entgegengesetzten Falle schlagen durch diesen Zwischenraum, wenn er nicht zu groß ist, Funken durch. Man kann diesen Versuch durch eine zweckmäßige Einrichtung einer Elektrisirmaschine mit zwei Flaschen sehr lehrreich so darstellen, daß man zu den zwei Conductoren derselben zwei vertical auf ihren Glasfüßen stehende hohle Cylinder von Messing- oder verzinnem Eisenblech nimmt, in welche zwei außen unbelegte cylindrische Ladungsflaschen genau hineinpasse, so daß sie mit ihrer Glasfläche gut an die Wand der Höhlung anschließen, und noch um 3 Zoll mit ihrer unbelegten Fläche darüber hervorragen. Hier vertritt nun der cylindrische Conductor die Stelle der äußeren Belegung. Verbindet man dann die beiden Knöpfe der Zuleiter zur innern Belegung durch einen Messingdraht, welcher vermöge einer doppelten rechtwinklichen Biegung in einer hinlänglichen Höhe über der Scheibe hinweggeht, und mit einer Glasröhre in seiner größten Länge umgeben ist, so daß man ihn, ohne ihn ableitend zu berühren, nach geschעהer Ladung hinwegnehmen kann, und setzt nun die Maschine in Bewegung, so

laden sich, auch wenn beide Conductoren isolirt sind, doch beide Flaschen in einem hohen Grade, und zwar hat die äußere Belegung der einen Flasche freie positive, die äußere Belegung der andern, mit dem Conductor des Reibzeugs verbundenen Flasche freie negative Spannung, ihre beiden innern Belegungen sind 0 el. und beide sind gleich stark geladen.

i. Wenn man eine Reihe von isolirten Flaschen an einander ladet, wovon nur die letzte durch ihre äußere Belegung mit dem Erdboden verbunden ist, so ist die Ladung jeder folgenden Flasche schwächer als die der vorhergehenden, und zwar ist die Ladung nach einem bestimmten Gesetze abnehmend, wie man sich sowohl durch die schwächere Erschütterung als durch die Anzeigen der Elektrometer überzeugen kann, die bei jeder folgenden eine schwächere freie Spannung, als bei der vorhergehenden, dem Leiter, von welchem die Ladung ausgeht, näher stehenden, annehmen. Ist aber von einer solchen Reihe von Flaschen, welche soviel möglich einander vollkommen gleich seyn mögen, die eine äußerste mit ihrer innern Belegung mit dem positiven Conductor, die andere äußerste mit dem negativen Conductor in Verbindung, übrigens alle Flaschen als vollkommen isolirt, und nur auf die vorhin angegebene Weise mit einander verbunden angenommen, so sind die beiden äußersten gleich stark geladen, und die Ladung nimmt nach der Mitte der Reihe zu nach einem bestimmten Gesetze ab.

k. Wenn man eine Flasche, die mit einem *Adams'schen Quadrantenelektrometer* versehen ist, ladet, so findet man, daß dasselbe in dem Verhältnisse in die Höhe steigt, in welchem die Maschine länger umgedreht wird. Unter der Voraussetzung, daß nichts von der Quantität der E., welche durch die Umdrehung der Maschine erregt wird, verloren geht, sondern im Innern der Flasche verdichtet wird, wie sich auch durch die weiteren Betrachtungen im Geiste derjenigen Theorie, welche ein einziges Fluidum als die Ursache der el. Erscheinungen ansieht, vollkommen rechtfertigen wird, so sieht man leicht ein, daß für eine gegebene Flasche der Grad der freien Spannung, welchen das Elektrometer anzeigt, auch die Stärke der Ladung bestimmen wird. Wenn zwei Flaschen, die in allen Stücken soviel möglich übereinkommen, gleich stark geladen werden sollen, so wird nothwendig die doppelte Menge von E. und also bei gleichförmiger Wirksamkeit der Maschine die doppelte An-

zahl von Umdrehungen erforderlich seyn, und das Elektrometer wird abermals dieselbe freie Spannung wie im ersten Falle zeigen; drei Flaschen werden die dreifache Quantität fordern, und dieselbe Spannung wird dieses dreifache Quantum anzeigen. Dieses lehren auch unmittelbare Versuche. Statt die Flaschen zu vervielfältigen, kann man dieselbe Wirkung durch die Anwendung einer größeren Flasche mit einer größeren Belegung erhalten, und dieselbe Spannung wird also in demselben Verhältnisse ein größeres Quantum von verdichteter E. und also eine größere Ladung anzeigen, in welchem die Oberfläche der Belegung größer ist, oder unter sonst gleichen Umständen wird die Stärke der Ladung und der durch die Entladung hervorzubringenden Wirkung durch das Product aus der durch ein und dasselbe Elektrometer gemessenen Spannung in die Größe der Oberfläche im Allgemeinen angezeigt werden, ohne daß jedoch behauptet werden soll, daß diese Größe der Ladung numerisch genau durch das Product aus der Zahl, welche die Größe der Oberfläche in einem und demselben Areal Masse, z. B. in Quadratschuhén oder Zollen, anzeigt, in die Zahl der Grade des Elektrometers ausgedrückt werde, es wäre denn, man hätte ein Elektrometer angewandt, dessen Grade vorher so regulirt worden sind, daß die durch sie in Zahlen angezeigten Spannungen mit den Quantitäten von freier E. an einer gegebenen Oberfläche wirklich übereinstimmen.

1. Diese Bestimmungsart der Stärke der Ladung gilt jedoch nur für ein und dieselbe Glasesdicke und vielleicht selbst hierbei nur für eine und dieselbe Art von Glas. Ladet man zwei Flaschen, die man von hinlänglicher Größe, z. B. von wenigstens zwei Quadratfuß nehmen muß, um den Erfolg auffallender zu machen, deren Glasesdicke beträchtlich von einander abweicht, so wird man finden, daß die von dünnerem Glase mehr Umdrehungen der Maschine erfordert, damit das Elektrometer zu demselben Grade von Spannung steige, wie die Flasche von dickerem Glase, die Ladung der ersteren wird also bei gleichem Stande des Elektrometers stärker seyn, als die der letzteren. CAVENDISH hat das Gesetz aufgestellt, daß bei gleicher freier Spannung und gleicher Größe der Belegung die Stärke der Ladung im umgekehrten Verhältnisse der Glasesdicke sey, eine Behauptung, über deren Richtigkeit sich nicht wohl mit Bestimmtheit entscheiden läßt. Ob bei gleicher Dicke die besondere Beschaf-

fenheit des Nichtleiters noch ihren Einfluß äußere, darüber fehlt es an genügenden Versuchen. Wollte man die Analogie des Magnetismus zu Hülfe nehmen, so würde diese besondere Beschaffenheit als keinen Einfluß äußernd zu betrachten seyn, da die vertheilende oder Atmosphären-Wirkung des Magnetismus durch alle Medien in gleichem Grade hindurchgeht, und nur durch die Entfernung modificirt wird, die Erscheinungen der Leidner Flasche aber auch lediglich von einer Atmosphären-Wirkung abhängen. Daß WILKE einen Unterschied nach der Verschiedenheit der Materien, aus welchen seine Ladungsplatten bestanden, fand, und besonders am Siegellack eine, so überwiegende Ladungsfähigkeit beobachtete, kann auch bloß von dem ungleichen Leitungs-Vermögen dieser verschiedenen Nichtleiter, von denen keiner ein absoluter Isolator ist, abgehangen haben.

m. Die Ladung einer Flasche oder Platte findet sich nicht in den Belegungen, sondern auf der Glasfläche selbst. Man kann daher die Belegungen abnehmen, und mit andern vertauschen, ohne daß dadurch die Ladung der Flasche oder Platte mit weggenommen wird. Man kann diesen Versuch auf verschiedene Weise anstellen. Bei Glasplatten ist er am leichtesten anzustellen, wenn man zu ihren Belegungen Messingplatten gebraucht, die mit isolirenden Handgriffen versehen sind, an denen man sie von der Glasplatte abziehen, und ähnliche an ihre Stelle bringen kann. Während der Ladung muß dann begreiflich die eine Belegung mit dem Erdboden in leitende Verbindung gesetzt werden, die man nach geschehener Ladung wieder aufhebt. Eine besonders bequeme Vorrichtung hierzu, und um alle auf die Theorie der Ladung sich beziehende Versuche anzustellen, ist eine zwischen ein Gestell von überfirnissten Glasstäben senkrecht aufgehängte Glasplatte, die in einem Rahmen von recht trockenem und wohl überfirnisstem Holze eingefalst ist, um sie mit seidenen Schnüren, die an den Rahmen befestigt sind, an die Glassäulen, wovon zwei senkrecht aufgerichtet sind, und die dritte quer oben über weggeht, aufzuhängen. Die Belegungen bestehen aus recht ebenen, glatten runden Platten von dünnem, Messingblech mit umgeschlagenem, dadurch etwas verdicktem wohl abgerundetem Rande, die gleichfalls senkrecht an Glassäulen auf geeigneten Füßen befestigt sind, und auf der Bodenplatte des Gestells, in welchem die Ladungsplatte hängt, her-

angeschoben werden können, so daß sie parallel einander gerade gegenüber stehen, und nur durch die Glasplatte, an welche sie recht genau anschließen müssen, von einander getrennt sind. Von solchen Platten hat man dann ein doppeltes Paar nöthig. Zieht man nach geschעהer Ladung die zuerst gebrauchten Platten ab, und bringt an ihre Stelle das zweite Paar, so wird man bei der Entladung immer noch eine sehr derbe Erschütterung erhalten. Dieser Versuch gelingt indess nur recht gut bei trockener Witterung, und wenn man etwas schnell jenen Austausch vornimmt, denn allerdings haftet ein Theil der E. an der Metallbelegung derjenigen Seite, von welcher die Ladung ausgegangen ist, und welche freie Spannung zeigt, und wenn man diese Platte abzieht, so wird auch ein Antheil vorher gebundener E. auf der entgegengesetzten Fläche frei. Man kann denselben Versuch auch mit einem Zuckerglase oder Trinkglase machen, dessen Belege aus passenden schüsselförmigen Deckeln von Zinn oder mit Zinnfolie überzogener Pappe bestehen, in deren einen man das Glas hineinsetzt, während der andere sich bequem durch die Oefnung der Flasche einbringen läßt, und die nach geschעהer Ladung mit ähnlichen vertauscht werden. Eine Hauptsache ist, daß diese beweglichen Belegungen genau an die Glasfläche anschließen. Bei mit Schrot gefüllten Flaschen kann man diesen auch ausschütten, und durch anderen ersetzen, und die Flasche wird ihre Ladung nicht verloren haben.

Die Belegungen dienen vorzüglich nur dazu, die bei der Ladung den Belegungen zugeführte E. gleichförmig über alle Punkte der Glasfläche zu verbreiten und auch bei der Entladung auf einmal von allen Punkten der Glasfläche abzuleiten. Wäre die Glasfläche ohne Belegung, so würde beim Laden die E. nur zunächst derjenigen Glasstelle zugeführt werden, mit welcher der Zuleitungsdraht in unmittelbarer Berührung ist, und alle übrigen Stellen würden so gut wie ohne Ladung bleiben. Bei gehörigem Verfahren kann man indess auch eine unbelegte Flasche oder Platte laden. Man halte eine reine und trockene Glasplatte an eine ihrer Ecken, und fahre mit ihr über die am positiven oder negativen Conductor durch einen Messingdraht befestigte hervorstehende Kugel, so daß jede Stelle des Glases nach und nach mit ihr in Berührung kommt, während man die Glasplatte auf der andern Seite mit dem Finger oder irgend einem andern mit dem Erdboden in Verbindung stehenden Leiter der jedes-

mal an der Kugel anliegenden Stelle gegenüber berührt. Die Glasplatte wird auf diese Art geladen, indess zeigt sie ihre volle Ladung durch eine ähnliche Explosion, wie andere belegte Glasplatten nur dann, wenn man vor Anbringung des Ausladers an ihre beiden Oberflächen Metallplatten anlegt, die auf einmal von allen Punkten der geladenen Glasfläche die E. dem Auslader zuführen können, während bei Anbringung des Ausladers an die unbelegte Glasfläche die Entladung nur von jeder einzelnen Stelle aus, mit welcher der Auslader in Berührung kommt, mit einem kleinen Funken geschieht, weswegen aber auch nach der Reihe viele solcher Entladungen erfolgen können, wenn man mit dem Auslader über die Glasplatte hinfährt. Noch schneller kann man die Ladung einer solchen unbelegten Glastafel bewirken, wenn man die Zuleiter, welche ihren beiden Flächen die entgegengesetzten Elektricitäten zuführen sollen, zuspitzt, und die Glastafel während der Elektrisirung zwischen ihnen hin und her führt. Nur eine Luftschicht scheint sich bei ihrer Ladung auf eine andere Weise, wie die übrigen Nichtleiter zu verhalten. Diese wird dadurch bewirkt, daß man zwei mit Stanniol überzogene, recht ebene, Bretter einander gegenüber bringt, indem man das eine auf den Tisch legt und das andere an seidenen Fäden aufhängt, genau parallel über dem ersteren, durch eine Luftschicht von einem Zoll davon getrennt, und dem letzteren durch die Maschine E. zuführt, ein Versuch, den zuerst WILKE angestellt zu haben scheint¹. Hier wird man bei der Berührung beider Flächen eine starke Erschütterung erhalten, zum Beweise einer wirklich statt findenden Ladung, und zwar auch dann, wenn man während der Anstellung des Versuchs durch einen Blasebalg die dazwischen befindliche Luft fortdauernd erneuert. Der Uebergang der E. von einer recht glatten ebenen Fläche an die Luft selbst findet also nicht statt wie an einen starren Nichtleiter, und die durch die Ladung verdichtete E. haftet hier also an den Metallflächen selbst, und wird daran, wie an den Leitern überhaupt, nur durch den Widerstand der Luft zurückgehalten. Uebrigens gelingt der Versuch der Ladung einer Luftschicht nur bei recht trockenem Wetter, und die Erschütterung ist nur dann recht stark, wenn man dieselbe noch während der fortdauernden Elektrisirung nimmt, verliert sich dage-

1 a. o. a. O. S. 263.

gen sehr schnell nach dem Aufhören derselben, wovon die Ursache wohl in der Beweglichkeit der Luft, die eben darum nur ein sehr unvollkommener Isolator ist, liegt. Dasselbe findet auch bei der Ladung einer Oelschicht statt.

n. CUTHBERTSON will wiederholt die Beobachtung gemacht haben, daß im Winter dieselben Flaschen keine so starke Ladung annehmen, als im Sommer, die Stärke der Ladung sowohl nach der Länge des Entladungsfunkens durch das Lane'sche Ausladeelektrometer, als nach der Länge des geschmolzenen Eisendrahts bestimmt ¹. Eben die Flasche, mit welcher CUTHBERTSON 8 Zoll Eisendraht im Sommer geschmolzen hatte, konnte im Winter keine Ladung vertragen, die stark genug war, um nur 5 Z. zu schmelzen, ohne durchbrochen zu werden, und zwar trug sich dieses so anhaltend zu und CUTHBERTSON zerbrach so viele Flaschen, daß er endlich genöthigt wurde, das Drahtschmelzen von mehr als 4 Z. mit Flaschen von gewöhnlicher Größe zu unterlassen. Diese Verschiedenheit läßt sich nur aus der verschiedenen Beschaffenheit der Luft im Sommer und Winter erklären. Im letzteren leistet nämlich die Luft wegen ihrer größeren Dichtigkeit und Kälte dem Durchbruche der E. mehr Widerstand, als im Sommer, und da CUTHBERTSON den Versuch über das Schmelzen des Drahtes immer so anstellte, daß der Funken eine gewisse Luftstrecke von dem Knopfe der Ladungsflasche zu der Kugel des Ausladers, der dann den Schlag weiter zu dem zu schmelzenden Drahte führte, durchbrechen mußte, so läßt sich sehr wohl erklären, warum nun eine stärkere Ladung zum Durchbrechen durch diese Strecke im Winter als im Sommer erforderlich war, die, wenn sie an der Glasstärke selbst weniger Widerstand fand, als in den vereinigten Hemmungen des Weges, den sie zu durchlaufen hatte, eher das Glas durchbrach als den letztern Weg nahm. Hätte CUTHBERTSON die Kugel des Ausladers dem Knopfe der Flasche genähert, so würde er ohne Zweifel auch im Winter jene 8 Zoll Eisendraht mit derselben Flasche haben schmelzen können. Die größere Länge des Funkens beim Ausladen im Sommer als im Winter erklärt sich auf die nämliche Weise von selbst. Doch könnte auch eine größere Sprödigkeit des Glases durch die Winterkälte Antheil an der leichtern Zerspringbarkeit beim Elektrisiren gehabt haben.

¹ Abhandlung von der El. Ste Fortsetzg. S. 150. 151.

III. Entladung der Leidner Flasche, Erschütterungsschlag, Bedingungen und allgemeinste Verhältnisse der Erschütterung.

a. Die Entladung der Leidner Flasche wird bewirkt, wenn man eine leitende Verbindung von einer Seite derselben zur andern führt, auch nur so weit, bis sie der andern Seite so nahe kommt, daß die E. derselben die zwischenliegende Luft durchbrechen kann. Man bedient sich gewöhnlich dazu des Ausladers¹, dessen eines Ende an die äußere Belegung angesetzt, das andere aber dem Knopfe genähert wird. Sobald dieses Ende in den gehörigen Abstand vom Knopfe (in die *Schlagweite*) kommt, so bricht zwischen beiden ein starker Funke mit einem heftigen Laute aus, und die Ladung der Flasche ist bis auf einen kleinen Ueberrest verschwunden. Diese Erscheinung heist der elektrische Schlag (*explosio electrica*; *explosion électrique*, *coup foudroyant*; *electrical shock*). Dieser Funke übertrifft zwar den Funken aus dem ersten Leiter einer Maschine nicht an Länge, vielmehr kann man durch angemessene Ausdehnung des ersten Leiters und das richtige Verhältniß zwischen den beiden Kugeln, zwischen denen der Funke durchbricht², diesem eine viel größere Länge verschaffen, als diejenige des Entladungsfunkens selbst der größten Batterieen ist, dagegen ist letzterer viel dicker, glänzender, in seiner Bahn gerade, und nicht zickzackförmig, der Laut desselben ist viel heftiger, und nähert sich bei sehr großen Batterieen schon dem Knalle einer kleinen Pistole.

b. Wenn die Ladung nicht allzu stark ist, so kann man diesen Schlag durch den Körper eines oder mehrerer Menschen gehen lassen. Ist es nur einer, so faßt er die Flasche an der äußeren Belegung mit der einen Hand, und nähert den Finger der andern Hand ihrem Knopfe; sind es mehrere, so viel ihrer auch seyn mögen, so bilden sie eine Kette, indem sie sich die Hände geben, der erste faßt die Flasche mit der Hand, der letzte bringt den Finger gegen den Knopf. Sobald der Schlag ansbricht, fühlen alle, wenn es auch hundert oder mehrere sind,

1 S. Auslader.

2 S. Elelektisirmaschine.

und die Belegung alsdann nur eine verhältnismäßige Größe von wenigstens einem Quadratschuh hat, in demselben Augenblicke eine heftige Erschütterung, vorzüglich in den Gelenken der Hände, Arme und Schultern und in der Brust, die jedoch in der Regel keine weitere schmerzhaft empfindung zurückläßt. Davon heißt der Schlag auch die elektrische Erschütterung (*concussio, commotio electrica; commotion électrique*). Ist die Ladung stark, z. B. die einer Batterie oder auch nur einer Flasche von mehreren Quadratschuhen Belegung, die zu einem hohen Grade von Spannung geladen ist, so darf man sich dem Schläge nicht aussetzen, weil er alsdann Thiere zu tödten vermögend ist, und Lähmung der Nerven in den Theilen, durch welche er hindurchgeht, Blutspeien u. d. g. verursachen könnte. Ueberhaupt bringt die E. bei der Entladung der Flaschen und Platten, vorzüglich wenn mehrere zu einer Batterie vereinigt sind, die erstaunlichsten Wirkungen hervor, und heißt daher *verstärkte Elektrizität*. Doch findet darum kein wesentlicher Unterschied zwischen ihr und der sogenannten *einfachen E.*, wie sie vom ersten Leiter einer Maschine aus wirkt, statt, wie man denn durch eine angemessene Einrichtung die Wirksamkeit dieser letzteren bei hinlänglicher Stärke der Maschine bis auf einen Grad verstärken kann, daß sie mit derjenigen einer Leidner Flasche ganz übereinkommt¹. VOLTA² hat für verschiedene Größen der Belegung denjenigen Grad der Spannung nach seinem Strohhalmelektrometer bestimmt, welcher nöthig ist, damit im kleinen Finger eine eben noch wahrnehmbare Erschütterung empfunden werde, und fand bis zu einer gewissen Grenze, daß um bei noch einmal so großer Belegung den gleichen Effect hervorzubringen, eine Spannung etwas größer als die Hälfte erforderlich ist. Doch mag nach einem andern Elektrometer das Resultat wohl anders ausfallen. Uebrigens weichen die Erschütterungen wenigstens qualitativ merklich von einander ab, wenn sie auch durch dieselbe Menge von E. hervorgebracht werden, je nachdem die Oberfläche durch die Spannung oder umgekehrt ersetzt wird. Die von einer kleinen Flasche mit großer Spannung sind lebhafter, schärfer, gleichsam vibrirend, aber weniger voll, die von einer großen

1 Vergl. *Elektrisirmaschine*.

2 G. XIV. 260.

Flasche oder Batterie mit schwacher Spannung sind schwerer und tiefer, und gleichen mehr den Schlägen der el. Fische.

c. Es kann auch die Entladung einer Flasche stillschweigend ohne Schlag und Erschütterung bewirkt werden, wenn man beide Seiten derselben allmähig von ihren E. befreit (denn eine allein zu befreien, ist wegen des Wirkungskreises der entgegengesetzten auf der andern Seite, durch welche jene zurückgehalten wird, unmöglich, wie aus der Theorie noch weiter erhellen wird). Am lehrreichsten in Beziehung auf das Wesen der Ladung und Entladung geschieht dieses, wenn man eine eben geladene Flasche auf einen Harzkuchen oder eine sonst gut isolirende Unterlage stellt. Berührt man nun den Knopf mit dem Finger, so erhält man, da keine leitende Verbindung von diesem zur äußern Belegung statt findet, keinen Schlag, sondern nur einen stechenden Funken. So wie man diesen Funken genommen hat, ist die innere Belegung mit ihrem Zuleiter auf 0 zurückgebracht, wie dieses mit jedem Leiter der Fall ist, welchen man mit dem Erdboden in leitende Verbindung gesetzt hat. Dagegen zeigt nun die äußere Belegung, die vorher el. war, freie el. Spannung, und zwar von der entgegengesetzten Natur, wie die der inneren Belegung, und man kann nun aus dieser eben so einen schwachen Funken erhalten. So wie man diesen genommen, und damit die äußere Belegung wieder auf 0 zurückgebracht hat, so zeigt der Knopf und die innere Belegung abermals freie Spannung von derselben Qualität, wie sie im Anfange hatte, man kann einen neuen Funken aus ihr ziehen, worauf die äußere Belegung wieder dasselbe Verhalten, wie bei der Entziehung des ersten Funkens zeigt. So erhält man durch abwechselnde Berührung des Knopfes und der äußeren Belegung fortdauernd Funken, die aber nach einem bestimmten Gesetze immer schwächer und schwächer werden, und hat man dieses lange genug fortgesetzt, so daß am Ende keine der Belegungen auch am empfindlichsten Elektrometer freie Spannung mehr zeigt, so ist die Flasche vollkommen entladen. Diese stillschweigende Entladung kann man auf eine interessante Weise auch dadurch bewirken, daß man um die äußere Belegung einen messingenen Ring legt, aus dem ein krumm gebogener Stab mit einem Knopfe B heraufgeht, so daß die beiden Knöpfe A und B sich in einer Entfernung, die etwas größer als die Schlagweite ist, gegenüberstehen. Wenn man dann einen leichten

Fig.
56.

Körper wie eine Kork- oder Hollundermark-Kugel an einem seidenen Faden zwischen die beiden Kugeln herabhängen läßt, so wird er abwechselnd von A und B angezogen, bringt so nach und nach die entgegengesetzten E. der beiden Seiten zur Ausgleichung, womit die Entladung der Flasche gegeben ist. Man hat diesem Versuche auch wohl den Namen der *elektrischen Spinne* gegeben, indem man jenem leichten Körper eine solche Form gab, und die Hin- und Herbewegungen desselben zwischen den beiden Kugeln gleichsam die Bewegungen jener Spinnerin darstellen, wenn sie ihr Gewebe spinnet. Die Spinne selbst wird aus Kork oder leichtem Holze geschnitten und lackirt, so daß ihr Körper dem jenes Thieres gleicht, die Füße aber werden aus seidenen Fäden nachgebildet. Befestigt man auf den Knöpfen A und B metallene Glocken, und wird an dem seidenen Faden statt der Spinne eine kleine metallene Kugel aufgehängt, so entladet sich die Flasche allmählig durch ein Geläute.

d. Die allmählige Entladung findet auch statt, wenn man die äußere Belegung mit der Erde in Verbindung setzt, und auf den Knopf der innern eine Spitze aufsteckt, oder wenn der Zuleitungsdraht schon an und für sich in eine Spitze ausgeht und durch Abschrauben der Kugel entblößt wird, wobei man begreiflich sich isolirender Werkzeuge bedienen muß. Unter diesen Umständen zerstreut sich die E. der innern Belegung stillschweigend durch die Spitze, und zwar bei positiver Ladung derselben mit einem im Dunkeln sichtbaren positiven Feuerstrahle, bei negativer mit der Lichterscheinung der negativen Spitzen, während die E. der äußeren Belegung sich gleichzeitig mit dem Erdboden ausgleicht. Dieselbe stille Entladung erhält man auch, wenn man die zugespitzten Enden des Ausladers, von dem man zu diesem Behuf vorher die Kugeln abgeschraubt hat, dem Knopfe der inneren und äußeren Belegung der auf einem Harzkuchen isolirten Flasche gegenüber hält, und zwar in einer größeren Entfernung als diejenige ist, bis zu welcher der mit seiner Kugel versehene Auslader dem Knopfe der Flasche zur Erhaltung des Schlags genähert werden muß, wobei, unter Voraussetzung positiver Ladung der inneren Belegung die dem Knopfe gegenüberstehende Spitze einen negativen, die der äußeren Belegung gegenüberstehende einen positiven Feuer-Pinsel zeigt, und umgekehrt bei entgegengesetzter Ladung. Selbst wenn eine Flasche an ihrem Zuleitungsdrahte mit keinen Spitzen versehen ist,

verliert sich doch nach einiger Zeit ihre Ladung von selbst, wenn ihre äußere Belegung in leitender Verbindung mit dem Erdboden ist, weil die Luft und die in ihr schwebenden leitenden Theilchen die E. der innern Belegung allmählig abführen, wenn sich die der äußeren Belegung in gleichem Verhältnisse mit ihrem Gegensatze ausgleichen kann. Doch geht diese Zerstreuung um so schneller vor sich, je kleiner die Kugel des Zuleitungsdrahtes und je dünner dieser selbst ist, dem Gesetze gemäß, welches unter dem Artikel: *Elektricität* über die Ableitung derselben durch die Luft aufgestellt worden ist.

e. Wenn man eine etwas größere Flasche oder gar eine Batterie auf die gewöhnliche Weise durch einen Auslader entladet, so daß man die Kugel derselben nur so weit mit dem Knopfe der Flasche nähert, daß die Explosion erfolgen kann, so wird man nach erfolgtem Schlage in sehr kurzer Zeit bei größerer Annäherung der Kugel abermals eine, aber viel schwächere Explosion erhalten, und wenn man abermals eine gewisse Zeit abwartet, eine zweite und selbst noch eine dritte, die jedoch immer schwächer werden, wo aber selbst die zweite bei einer ansehnlichen Batterie trotz der Kürze des Entladungsfunkens oft noch eine sehr heftige Erschütterung verursacht. Man kann indess unter günstigen Umständen die Kugel des Ausladers mit dem Knopfe auch in unmittelbare Berührung bringen, nur muß man diese wieder aufheben, um bei neuer Annäherung jene zweite Explosion zu erhalten. Dieser Ueberrest der Ladung findet vorzüglich dann statt, wenn die Luft recht trocken ist. Nach v. MARUM'S¹ Versuchen steht er einigermassen im umgekehrten Verhältnisse mit dem Grade, bis zu welchem bei derselben Flasche oder Batterie die Ladung getrieben worden ist. So schien er bei einer Ladung von 5° noch einmal so groß zu seyn, als bei einer Ladung von 15°. Man sieht hieraus, daß die an der innern Glasfläche angehäuften und verdichteten E. sich nicht in einem gleich günstigen Verhältnisse für die Entladung befinden muß.

f. Man kann eine Flasche ohne alle Explosion und ganz unbemerkt entladen, wenn man sie eben so stark mit der entgegengesetzten E. von derjenigen ladet, durch welche sie ihre ursprüngliche Ladung erhalten hat. Ist z. B. eine Flasche am

¹ G. I. 277.

positiven Leiter durch eine bestimmte Anzahl von Umdrehungen der Elektrisirmaschine bis zu einem bestimmten Grade von Spannung geladen worden, und wird sie dann mit dem Knopfe an den Leiter des Reibzeugs gebracht, so wird man nach derselben Anzahl von Umdrehungen alle Ladung der Flasche aufgehoben finden, und bei fortgesetzter Bewegung der Maschine wird sie dann negativ geladen. Man begreift indess leicht, daß es bei der wirklichen Anstellung des Versuchs schwierig ist, genau den Punct zu treffen, wo die negative Ladung die vorhergegangene positive gerade aufgehoben hat, da das Kennzeichen der Aufhebung aller Spannung unsicher ist, sofern die gewöhnlichen Ladungsektrometer die schwächeren Grade von Spannung, womit bei größeren Flaschen noch eine sehr starke Ladung bestehen kann, nicht mehr anzeigen.

g. Die Ladung einer Flasche läßt sich unter mehrere andere vertheilen, wenn man nach vorher veranstalteter guter leitender Verbindung ihrer äußeren Belegungen unter einander ihre inneren Belegungen durch einen isolirt gehaltenen Leiter, z.B. durch den an einem isolirenden Handgriffe gehaltenen Auslader, mit dem Knopfe der geladenen Flasche in Verbindung bringt. Man kann auf diese Art die Capacität jeder Batterie mit der Capacität irgend einer Ladungsplatte von bestimmter Dicke eines bestimmten Glases von einer bestimmten Größe der Belegung vergleichen, oder genau auffinden, wie viel mal mehr E. jene wie diese enthält, wenn sie beide an einem und demselben Leiter zugleich und also zu derselben Spannung geladen wurden. So bestimmte z. B. CAVENDISH in seinen lehrreichen Versuchen mit einem künstlichen Zitterrochen die Capacität einer jeden Reihe von 7 Flaschen, von denen 7 Reihen seine ganze Batterie ausmachten, $15\frac{3}{4}$ mal so groß, als diejenige einer Platte von Kron- glas von der Dicke von 0,055 eines englischen Zolles und 100 Quadrat Zoll Belegung. Man nehme an, eine Flasche oder Batterie sey so weit geladen, bis die Kugeln eines beliebigen Ladeelektrometers (es sey nun ein Adams'sches oder irgend ein anderes mit zwei gehörig aufgehängten Kugeln, deren Abstand an einem Gradbogen genau gemessen werden kann) bis zu einer gegebenen Entfernung von einander abstehen, so läßt sich leicht finden, wie weit sie von einander abstehen würden, wenn die Menge von E. in der Flasche oder Batterie auf die Hälfte reducirt würde. Zu diesem Behuf nehme man zwei Flaschen,

die einander an Gestalt, Größe der Belegung und Dicke des Glases so gleich als möglich sind, und lade die eine so weit, bis die Kugeln zu einer bestimmten Entfernung von einander abste-
hen, theile ihre E. der andern mit und beobachte bis zu wel-
cher Entfernung die Kugeln nach dieser Mittheilung von ein-
ander abste-
hen. Es ist klar, daß, wenn die Flaschen einander
vollkommen gleich sind, dieses gerade die gesuchte Entfernung
seyn würde, weil in diesem Falle die rückständige Quantität
von E. in der ersten Flasche nach geschehener Mittheilung ge-
rade halb so groß wie zuvor seyn wird. Da man aber nicht
annehmen kann, daß die beiden Flaschen einander ganz genau
gleich sind, so wiederholt man den Versuch, indem man nach-
her die zweite Flasche eben so stark wie zuvor die erste ladet,
ihre E. mit der ersten theilt, und abermals beobachtet, wie
weit die Kugeln von einander abste-
hen, wo dann das Mittel
dieser beiden Entfernungen unstreitig der Grad der gesuchten
Entfernung seyn wird, wenn auch die beiden Flaschen nicht von
gleicher Größe waren. Will man nun nach CAVENDISH's Bei-
spiele die Capacität einer solchen Reihe von Flaschen verglei-
chungsweise mit jener oder irgend einer beliebigen Ladungs-
platte, die gleichsam zur Einheit dient, bestimmen, so ladet
man dieselbe, bis die Kugeln des Elektrometers jene erste Ent-
fernung zeigen, und theilt ihre Ladung wiederholt jener Platte
mit, wobei man Sorge tragen muß, die Platte jedesmal zuvor
vollkommen entladen zu haben, ehe man eine neue Mittheilung
vornimmt, bis man aus dem Abstände der Kugeln des Elektro-
meters wahrnimmt, daß die Ladung der Batterie auf die Hälfte
reducirt ist. Gesetzt man habe diese Mittheilung zwischen 11
und 12 mal, oder nach ungefäh-
rer Schätzung $11\frac{1}{2}$ mal nehmen
müssen, so läßt sich die Quantität von E. in jener Reihe von
Flaschen so finden. Die Quantität der E. in der Platte verhalte
sich zu derjenigen in der Reihe von Flaschen = $x:1$, so ist
es einleuchtend, daß die Quantität der E. in der Batterie bei je-
desmaliger Communication mit der Platte in dem Verhältnisse
von $1:(1+x)$ vermindert, und folglich nach $11\frac{1}{2}$ maliger Com-
munication in dem Verhältnisse von $1:(1+x)^{11,25}$ reducirt seyn
wird. Demnach ist $(1+x)^{11,25} = 2$ und $1+x = 2^{\frac{1}{11,25}}$, wor-
aus der Werth von x durch Logarithmen leicht gefunden wird.
Ein leichter Weg der Berechnung, der für den dabei beab-

sichtigten Gebrauch ein hinlänglich genaues Resultat giebt, ist folgender: Man multiplicire die Zahl, wie oftmals man die E. der Batterie der Platte mittheilte, mit 1,444 und ziehe von dem Producte den Bruch $\frac{1}{2}$ ab, der Rest ist $= \frac{1}{x}$, oder die Zahl, um wie viel mal die E. in der Batterie die der Platte übertrifft.

h. So wie man die Ladung einer Flasche unter mehrere durch die Entladung theilen kann, so kann man auch die Flaschen wechselseitig vollkommen durch einander entladen. Wenn man zwei so viel möglich gleich große Flaschen gleich stark geladen hat, doch mit entgegengesetzter E. ihrer inneren Belegungen, indem man den Knopf der einen mit dem ersten Leiter, den Knopf der andern mit dem Leiter des Reibzeugs in Verbindung setzte, und man führt nun, nach vorgängiger leitender Verbindung der äußeren Belegungen unter einander, den isolirten Auslader vom Knopfe der einen zum Knopfe des andern, so wird in der nöthigen Schlagweite eine Entladung mit der gewöhnlichen Explosion statt finden, und beide Flaschen werden zugleich entladen seyn, ungeachtet bei keiner derselben eine leitende Verbindung von der inneren zur äußeren Seite statt gefunden hat. Würde man diesen Versuch auf dieselbe Weise bei denselben Flaschen, aber bei gleichartiger Ladung der gleichnamigen Belegungen machen, so würde man keine Entladung erhalten, die aber sogleich statt finden wird, wenn auch bei vollkommener Isolirung beider Flaschen eine leitende Verbindung durch den Auslader zwischen dem Knopfe der einen Flasche und der äußeren Belegung der andern, und zugleich auch zwischen dem Knopfe dieser letzteren und der äußeren Belegung der ersten gemacht wird.

i. Die leitende Verbindung zwischen beiden Seiten der Flasche, der Verbindungskreis, braucht eben nicht aus einem einzigen ununterbrochenen Leiter zu bestehen. Man kann ihn sehr lang machen und mancherlei Körper hinein bringen, ja selbst Nichtleiter, wenn nur die Ladung stark genug ist, um den Widerstand, welchen diese leisten, zu überwinden. Es lassen sich überhaupt auf das Verhalten der E. bei diesem Streben nach Ausgleichung zwischen den el. Zuständen beider Belegungen in Beziehung auf einander und ihre Gegensätze in den umgebenden Leitern alle die Gesetze anwenden, die in dem Artikel: *Blitz* für die Ausgleichung der E. der Gewitterwolke mit ihrem relativen Gegensatze auf dem Erdboden aufgestellt worden sind, wobei diejenige Seite, von welcher die Ladung ausgegangen ist,

und an welcher die freie el. Spannung auftritt, als das Analogon der Gewitterwolke selbst zu betrachten ist. Der Schlag nimmt auch bei der Entladung der Flasche, wie bei derjenigen der Gewitterwolke, stets den Weg durch die besten Leiter, durch die er mit dem wenigsten Widerstande zu seinem Ziele der Ausgleichung gelangt. Sind daher mehrere Verbindungen vorhanden, so vertheilt er sich selten unter alle, sondern zieht z. B. die metallische oder die durch feuchte Körper gehende vor, zumal wenn sie zugleich die kürzeste ist. Vor mehreren Jahren wollte man zu Paris¹ die Beobachtung gemacht haben, daß wenn durch einen Kreis von mehreren Personen nach der oben unter b angegebenen Weise der Schlag geleitet wird, die Fortleitung durch impotente Personen, wenn sie sich in dem Kreise befinden, aufgehoben werde, allein Versuche, welche der Graf ARTOIS mit Castraten der Oper anstellen liefs, haben den Grund hiervon gezeigt. Uebrigens hat man selten Beispiele von Personen, welche zwar den el. Schlag durch sich hindurch auf andere Personen überleiteten, aber selbst ganz unempfindlich dafür waren².

Statt einer Reihe von Personen kann man eine große Ausdehnung von Metalldraht, das Wasser eines Flusses, oder einen langen Strich des Erdreichs zu einem Theile der Verbindung zwischen den beiden Belegungen machen. Dahin gehören WINKLER'S Versuch im Apel'schen Garten zu Leipzig den 28. Juli 1746³, wobei drei Flaschen in der Pleiße standen, welche entladen wurden, wenn man die Verbindungskette dreifsig Ellen weit davon ebenfalls in den Fluß hing, und das andere Ende an den mit den Flaschen verbundenen Conductor brachte, LE MONNIER'S Versuche in Paris⁴, der die Erschütterung durch einen Draht von 12000 Pariser Fufs, wobei wir jedoch die Angabe der nähern Umstände des *ersten* Versuchs vermissen, und in einem andern Falle über die Oberfläche des großen Bassins in den Tuileries leitete, vor allen aber die Versuche, welche WATSON in Gesellschaft mit mehreren Mitgliedern der Königlichen Gesellschaft zu London im Jahre 1747 und 1748

1 Sigaud de la Fond Précis historique et expérimental des phénomènes électriques. Paris 1781. 8. p. 285.

2 G. XIV. 143.

3 Priestley's Geschichte der E. S. 59.

4 Ph. Tr. Vol. XLIV. P. I. p. 290.

anstellte¹. Erst wurde die Erschütterung quer über die Themse, dann durch die Windungen eines Flusses, dann durch eine Verbindung von vier englischen Meilen, nämlich zwei Meilen Draht und zwei Meilen trockenen Erdboden, endlich am 5. August 1748 durch eine Strecke Draht von 12276 Fufs oder mehr als $2\frac{1}{4}$ englische Meilen geleitet. Diese beiden letzten Versuche waren besonders interessant, da sie nach der Art, wie sie an gestellt wurden, die auferordentliche und, so weit bis jetzt die Versuche gehen, instantane Schnelligkeit der Fortleitung der E. in das hellste Licht setzen². In dem Versuche, in welchem der trockene Grund mit in die Verbindung aufgenommen war, wurde der eine mit dem äufsern Belege der Flasche und dem sie ladenden Conductor verbundene Draht, eine Meile weit bis zu dem einen Beobachter, und der andere Draht, an welchem sich ein kurzer eiserner Stab befand, mit welchem durch Berührung des Drahtes der Flasche die Entladung gemacht wurde, zum andern Beobachter geleitet, welche selbst auf Harzkuchen isolirt mit der einen Hand jeder das Ende des Drahtes anfafsten, und mit einem eisernen Stabe in der andern Hand den Boden berührten, der in einer Strecke von zwei englischen Meilen die kürzeste Entfernung zwischen ihnen bildete. Die beiden Drähte waren blofs durch trockene hölzerne Stäbe getragen, der eine Draht ging selbst über Hecken und an Bäumen vorbei, der zwischen beiden Beobachtern befindliche Grund war zum Theil steinig und bei dem damals warmen Sommerwetter sehr trocken. In dem Augenblicke da die Entladung erfolgte, so weit bei der Entfernung der Beobachter vom Orte der Entladung dieses sich annäherungsweise bis auf weniger als $\frac{1}{2}$ Secunde mit Sicherheit ausmitteln liefs, fühlten auch die beiden Beobachter die starke Erschütterung, doch derjenige, dessen Draht in mehrfacher ableitender Berührung sich befand, weniger heftig. Der letzte Versuch³ war aber ganz entscheidend für eine instantane Fortleitung durch eine Strecke von mehr als 6000 Fufs. Hier wurde nämlich der eine Draht an das äufsere Beleg befestigt, und auf einem an das Zimmer, in welchem der Versuch gemacht wurde,

1 Ph. Tr. Vol. XLV. for 1748. p.49. auch Priestley's Geschichte der E. S. 71 f.

2 Vgl. auch den Artikel: *Elektricität*.

3 Ph. Tr. Vol. XLV. p. 85 u. 491.

anstoßenden Felde durch trockene Holzstäbe unterstützt, hin und her und mit seinem Ende in das Zimmer zurückgeführt, in einer Länge von mehr als einer englischen Meile, eben so der andere Draht, welcher durch Berührung des Drahtes der Flasche die Entladung bewirkte, und der Beobachter selbst, welcher sich im Zimmer neben der Maschine befand, faßte mit seinen beiden Händen die beiden Enden der Drähte. In dem Augenblicke der Entladung wurde auch die Erschütterung von ihm in beiden Armen und durch die Brust empfunden — dagegen empfand er nichts, wenn die beiden Drähte mit einander in eine leichte Berührung gebracht wurden und er wie zuvor die Drähte mit beiden Händen anfaßte, eben so wenig, wenn er nur das Ende des einen Drahtes in der Hand hielt, in welchem Falle sich die Flasche auf eine andere Weise entlud, und endlich war die Erschütterung ganz dieselbe und ging gleichfalls auch nur durch die beiden Arme und die Brust, und nicht durch die Füße, wenn der Beobachter außerhalb vor dem Fenster auf dem feuchten Grunde stand, und übrigens auf gleiche Weise die Enden der beiden Drähte in seinen Händen hielt. GEHLER¹ bemerkt nach einer kurzen Anführung der Versuche WATSON'S: „Es hat aber VOLTA² durch Versuche erwiesen, daß bei großen Verbindungskreisen die E. nicht in einem ununterbrochenen Strome durch den ganzen Kreis geht, daß vielmehr jede Seite ihren besondern Strom erregt und ihre E. den nächsten Leitern abgiebt. Dem zufolge entstand in jenen freilich sehr täuschenden Versuchen des Dr. WATSON der el. Schlag an jedem Ende für sich und ohne Zusammenhang mit dem andern Ende, wobei das Unbegreifliche dabei auf einmal verschwindet.“ Wir müssen dagegen erinnern, daß auch bei Annahme der Richtigkeit der Volta'schen Behauptung das Unbegreifliche, was ohne Zweifel in der Schnelligkeit der Fortpflanzung und in dem Beschränktbleiben auf einem so bestimmten Weg liegen soll, dasselbe bleibt. VOLTA³ stützt sich zum Erweise jener Behauptung auf eine nähere Betrachtung und Erörterung

1 Wörterbuch II. 297.

2 Rozier Journal de Physique 1779.

3 Opuscoli scelti sulle science e sulle Arti. Milano 1778. Tomo I. p. 4 u. 5. übers. in Alex. VOLTA'S Schriften über E. u. Galv. Von Dr. Nasse. Halle 1803. S. 67 — 77.

des Vorgangs bei der Entladung einer Leidner Flasche durch einen Kreis z. B. von mehreren Personen, wovon die eine an einem Ende der Reihe, die wir mit O bezeichnen wollen, die äußere Belegung anfasset, während die äußerste am andern Ende, A den Knopf berührt. VOLTA, die Sprache der Franklin'schen Theorie gebrauchend, bemerkt nun, daß in demselben untheilbaren Augenblicke, in welchem in die Person A aus dem Kopfe E. überzufließen anfängt, auch aus O gleichzeitig E. in die äußere Belegung übergehe, und zwar auf Unkosten der eigenen E. von O, weil in demselben Augenblicke, daß die Spannung auf der innern Belegung auch nur durch Entziehung des kleinsten Quantums von E. durch den berührenden Finger abnimmt, auch die äußere Seite sogleich in wirklicher Negativität gegen die umgebenden Körper auftritt, welche sich also von ihrer Seite wieder positiv gegen sie verhalten und folglich von ihrer eigenen E. ihr abgeben müssen. Diesen Verlust wird O von der Person, die zunächst mit ihr verbunden ist, ersetzen, und so wird diese, vermöge dieser Mittheilung, gleichfalls einen Schlag empfinden, eben so wird sich der Strom von A auf die mit ihr zunächst verbundene Person B verbreiten, und diese demnach gleichfalls den Schlag empfinden, und so von O und von A aus von beiden Seiten nach der Mitte hin. Aber es ist eben so einleuchtend, daß so wie O E. an die innere Belegung abgegeben hat, es seinen Verlust nicht bloß aus der nächsten Person, sondern auch aus dem Erdboden ersetzen wird, weswegen dann aus der zunächst angrenzenden Person schon weniger in O übergehen muß, als aus O in die äußere Seite und so verhältnißmäßig im Fortgange nach der Mitte zu abnehmend. Eben so wird die aus dem Knopfe ausströmende E. sich auch noch andern Leitern mittheilen, mit denen A in Verbindung steht, und nicht bloß in die nächste Person übergehen. Damit stimmen nun die Erscheinungen bei der Mittheilung einer Erschütterung an einen Kreis von mehreren Personen sehr gut überein, nämlich daß, abgesehen von der subjectiv verschiedenen Empfindlichkeit für den Schlag, die stärkste Erschütterung von den an den beiden äußersten Enden befindlichen Personen und nach der Mitte zu stufenweise schwächer empfunden wird, was nach beiden Theorien Schwierigkeit machen würde, wenn bloß die Ausgleichung innerhalb des nächsten Verbindungskreises erfolgte. Auch der Umstand, daß

in diesem Falle alle Personen zugleich in den Fußgelenken eine Erschütterung empfinden, beweiset die Ausgleichung der E. beider Belegungen nach allen Seiten bei einem mehr ausgedehnten Leiter, wo die Ausdehnung dieses Leiters selbst als ein Hinderniß wirkt. So gegründet nun auch diese Bemerkungen an und für sich sind, so bleibt es doch keinem Zweifel unterworfen, daß in den oben angeführten Versuchen WATSON'S jene Leitung der E., wie man sich dieselbe auch vorstellen will, worüber die Theorie erst das Nähere anzugeben hat, für die Beobachtung wenigstens in einem untheilbaren Augenblicke und instantan von beiden Seiten durch eine Länge von wenigstens 6000 Fuß sich erstreckt habe, weil der Beobachter, welcher sich wirklich in dieser Entfernung befand, da er die Enden der beiden Drähte hielt, in dem Augenblicke der Entladung auch die Erschütterung empfand. Auch ergiebt sich bei der Prüfung dieser Versuche, daß, wenn der Verbindungskreis aus so guten Leitern, wie die Metalle sind, besteht, und die Menge der E. die nach Ausgleichung strebt, nicht so ansehnlich ist, die Leitung von einer Belegung zur andern, oder die Ausgleichung selbst bei so großen Strecken so gut wie ausschließend in einem solchen Kreise geschieht, und nicht davon abweicht, selbst wenn die Isolirung des Drahtes nicht vollkommen ist. Nur dann, wenn die Isolirung sehr unvollkommen ist, und der Ausgleichung dadurch Nebenwege eröffnet sind, oder wenn bei wenig ausgedehnter Leitung die Menge der sich ausgleichenden E. sehr ansehnlich ist, erstreckt sich die Ausgleichung und die davon abhängige Erschütterung auch noch über den nächsten Kreis von Leitern von einer Belegung zur andern hinaus. So empfindet man bei der Entladung einer sehr großen Flasche, noch mehr einer Batterie, selbst durch einen Auslader von dickem Messingdrahte, den man in der Hand hält, eine leichte Erschütterung in dieser. Daher kommt es auch, daß, wenn man eine Kette mit der äußern Seite einer geladenen Flasche verbindet, und diese auf die gewöhnliche Weise durch den Auslader entladet, diese Kette, die doch kein unmittelbares Glied der leitenden Verbindung zwischen den beiden Belegen ausmacht, dennoch im Dunkeln leuchtet, d. h. Funken zwischen ihren Gliedern zeigt, ja selbst dann, wenn sie sich nicht unmittelbar in Berührung mit der äußern Seite der Flasche, sondern nur nahe dabei befindet, in welchem

Falle man im Augenblicke des Ausladens einen Funken zwischen der Flasche und dem nächsten Ende der Kette sehen wird.

k. Dieser sogenannte seitwärts gehende Schlag, wie man die zuletzt erwähnte Erscheinung bezeichnet, hat aber noch in einer andern Form, unter welcher man ihn darstellen kann, seinen Grund in dem Umstande, daß wenn sich die E. in einem Leiter ausgleichen, dessen Capacität, verglichen mit derjenigen der Flasche, nicht überwiegend ist, die Ausgleichung nicht Null E. giebt, sondern sich stets ein Ueberschuß von E. von der Beschaffenheit der E. derjenigen Seite, von welcher die Ladung ausging, zeigt. Man setze eine geladene Flasche auf den Tisch, isolire einen starken metallenen Stab und stelle ihn so, daß er mit einem Ende die äußere Belegung der Flasche berührt, und richte ungefähr einen halben Zoll weit von seinem andern Ende einen Körper auf, der etwa 6 oder 7 Fuß lang und wenige Zoll breit ist. Man lege ferner eine Kette auf den Tisch, so daß das eine Ende derselben etwa $1\frac{1}{2}$ Z. von der Belegung der Flasche absteht, befestige das andere Ende an den einen Knopf des Ausladers und entlade dann durch Annäherung des andern Knopfes die Flasche. In dem Augenblicke der Entladung wird sich zwischen dem isolirten Stabe ein starker Funken zeigen, der aber den el. Zustand dieses Körpers nicht verändert. Aus diesem letzteren Umstande zog man den sonderbaren Schluß, daß dieser seitwärts gehende Funken aus der Belegung der Flasche komme und in demselben Augenblicke wieder in sie zurückkehre. Indessen hat CUTHBERTSON¹ durch eine Reihe zweckmäÙig angestellter Versuche das Irrige dieser Ansicht hinlänglich nachgewiesen. Er hat zur genauen Untersuchung dieses Phänomens eine eigene Vorrichtung angegeben, mittelst welcher er durch jenen seitwärts gehenden Funken eine kleine Flasche ladete, und zwar wurde sie positiv geladen, wenn die größere Flasche inwendig positiv, negativ hingegen, wenn dieselbe inwendig negativ geladen war. Auch zeigte sich der Schlag stärker, wenn mit der innern Belegung ein Leiter von mehr Oberfläche verbunden wurde, z. B. wenn man die größere Flasche statt des Knopfes mit einer großen metallenen Kugel versah. CUTHBERTSON leitete diese Ladung durch jenen

¹ Abhandlung von der Electricität 5to Forts. S. 203.

seitwärts gehenden Schlag richtig von jenem Ueberschufs von + oder — E ab, welches die freie Spannung bildet.

1. Durch Nichtleiter geht die Erschütterung nicht, sie müßte denn stark genug seyn, sie mit Gewalt zu durchbrechen, wobei allezeit ein Funke entsteht. Wenn daher die Verbindung durch eine Reihe nicht ganz zusammenhängender, sondern nahe an einander stehender leitender Körper gemacht wird, so entsteht zwischen jedem Paare dieser Körper ein Funke, weil die E. die Luft daselbst durchbrechen muß. Hierauf gründen sich allerlei Spielwerke, von denen schon im Artikel: *Elektricität* bei Gelegenheit des el. Eunkens im Allgemeinen die Rede gewesen ist. NOLLET ist der Erfinder hiervon, SIGAUD DE LA FOND¹, GÜYOT² u. a. haben die dabei zu beobachtenden Vortheile umständlich angegeben. Das Wesentliche hiervon wird man zur Genüge aus der Abbildung des sogenannten Kometen oder eines Sterns mit langem sich allmählig erweiterndem Schweife abnehmen können. Die ganzen Linien c, c, c, . . . stellen höchst ^{Fig.} 57. feine Streifen von Stanniol dar, die auf eine lange, verhältnißmäßig schmalere, Glastafel, oder wenn man eine größere Länge beabsichtigt, auf zwei oder mehrere durch einen Rahmen an einander gefügte Glastafeln mit Hausenblase geklebt sind, und mit einem feinen Federmesser an den gehörigen Stellen so durchschnitten sind, dafs die Zusammenstellung der dadurch gebildeten Unterbrechungen auf dem Glase die beabsichtigte Figur eines Kometen darstellt, zu welchem Behufe begreiflich die freien Stanniolstreifen selbst schon auf eine passende Weise aufgetragen seyn müssen, wie die Figur selbst deutlich genug zeigt. Dawo die Zwischenräume mit einem Kreuze bezeichnet sind, bildet sich die Figur des Sterns; die einfachen Streifen e, e, e, mit denen die horizontalen Linien durchschnitten sind, bilden zusammen den Schweif. Das Ganze wird mit Firnis überzogen. Indem die Entladung in einem untheilbaren Augenblicke durch alle diese Zwischenräume in Form von kleinen Funken hindurchschlägt, werden sie auf einmal erleuchtet, und stellen einen siebeneckigen Stern mit einem sich nach unten mehr und mehr erweiternden Schweife dar, den man nach Belieben auf 2, 3

1 Geschichte der medic. und physik. E. von Kühn. 1ster Theil. Leipzig 1783. gr. 8. S. 240.

2 Physik. und mathem. Belustigungen Th. IV. S. 301—310.

und mehrere Fufs verlängern kann. Die Hauptsache hierbei besteht darin, daß auf dem Wege durch die ganze Länge jener Stanniolleitung nirgend eine Stelle sich finde, wo der el. Funken durch Ueberspringen auf dem geradesten und kürzesten Wege weniger Widerstand finde, als auf dem langen Umwege die Summe mehrerer kleiner Zwischenräume Hemmung entgegengesetzt, daß also z. B. in jenem Kometen n von m noch hinlänglich entfernt sey, um mehr Widerstand zu leisten, als in der Summe der kleinen Zwischenräume, deren Zahl in dem mitgetheilten Schema 14 beträgt, liegt, die zur Hervorbringung der Figur eines Sterns erforderlich sind. Es lassen sich aus Stannioltafeln, welche auf Glasplatten aufgeklebt sind, durch einfache Vorrichtungen in gleichen Zwischenräumen sehr schmale Streifen ausschneiden, so daß von der Stannioltafel nur schmale, einander parallele Streifen, zwischen denen eben so schmale, durch jenes Ausschneiden von ihrem Stanniol befreite Glasstreifen sich befinden, zurückbleiben, die man an ihren beiden Enden durch kleine Stückchen Stanniol mit einander verbindet, um durch die ganze Länge aller Stanniolstreifen eine ununterbrochene Leitung zu haben, worauf man dann mit einem feinen Federmesser beliebige Schnitte durch die Stanniolstreifen macht, die in ihrer Zusammenstellung jede Art von Gestalt, einen Namen, ein Portrait, eine Blume, ein Gebäude, Landschaft u. s. w. darstellen können, und bei der Entladung einer Flasche im Dunkeln das verlangte Bild im schönsten Brillantfeuer erscheinen machen. Indefs ist zu allen diesen Versuchen auch der Funke aus dem ersten Leiter einer kräftigen Elektrisirmaschine hinreichend.

m. *Die Selbstentladung* einer Flasche beruht ebenfalls auf einem solchen Durchbruche durch Nichtleiter. Sie geschieht auf doppelte Art: auf die eine Art längs dem unbelegten Rande der Flasche mit einem starken, gewöhnlich geschlängelten, Funken, der am Glase seine deutliche Spur zurückläßt, indem dasselbe in der ganzen Richtung des Funkens seinen Glanz verloren hat, so daß die Gestalt des Funkens in einer wie mit Flussspathsäure in das Glas eingepägten Zeichnung erkennbar ist. Gewöhnlich geht dieser Selbstentladung ein wiederholtes Leuchten und Blitzen im Innern der Flasche an dem obern Rande der Belegung voran. Die andere Art der Selbstentladung ist mit einem Durchbruche durch das Glas verbunden. Dieses

findet leichter bei dünnem Glase statt, besonders wenn die Flaschen dabei sehr groß oder mit mehreren andern zu einer Batterie verbunden sind. Durchgängig bemerkt man, daß das Glas ein sehr feines Loch hat, um welches auf beiden Seiten die Masse des Glases in einem Umkreise von einer oder zwei Linien im Durchmesser gleichsam zerrieben ist, wie wenn vom Innern des Glases aus nach beiden Seiten eine mechanisch aufwühlende Kraft gewirkt hätte, und von diesem Mittelpunkte der Zerstörung gehen dann gewöhnlich noch längere Risse nach verschiedenen Richtungen aus. Wenn große Batterien entladen werden, so findet man oft einige von den Flaschen zerbrochen, welche die Gewalt des Schlages zersprengt hat. Um dieses zu verhindern, schreibt NAIKNE die Regel vor, daß niemals eine Batterie durch einen guten Leiter entladen werde, ohne den Weg des Ueberganges wenigstens 5 Fuß lang zu machen. Seit der Beobachtung dieser Regel will NAIKNE eine sehr große Batterie gegen hundertmal entladen haben, ohne eine einzige Flasche zu zerbrechen, da doch vorher beständig einige zerbrochen waren ¹. Die Länge des Weges scheint hierbei durch Verminderung der Stärke des Schlags zu wirken, da der Widerstand mit der Länge wächst und daher auch die Ausgleichung nicht so schnell vor sich geht, und die Erschütterung dadurch geringer wird.

n. Wenn der Verbindungskreis durch unvollkommene Leiter z. B. durch Stücke trockenen Holzes, durch inwendig angefeuchtete Glasröhren u. dgl. unterbrochen wird, so entstehen dadurch anhaltend schneidende Funken oder Büschel, die nicht erschüttern, aber an dem Theile des Leibes, wo sie eindringen, eine höchst widrige Empfindung verursachen. WOLF² hat diese Art der Entladung zuerst angewandt, um mit Batterien von wenigen und kleinen Flaschen Schießpulver zu entzünden. Dieses wird in eine kleine fingerhutartige Büchse von Elfenbein oder Buchsbaum geschüttet, in welche seitwärts Drähte geschraubt sind, die in dem Schießpulver etwa eine halbe Linie von einander abstehen, und in den Entladungskreis, von welchem diese Vorrichtung einen Theil ausmacht, wird mittelst

1. Cavallo I. 170.

2. Magazin für das Neueste aus der Physik u. s. w. v. Lichtenberg II. Bd. 2tes St. S. 70.

metallener Haken, die sie an beiden Händen hat und die man am bequemsten durch Körbe in ihr befestigt, eine Glasröhre gebracht, deren Wände überall durch ein paar Tropfen Wasser befeuchtet sind. Viele Jahre später sind diese Versuche als ganz neu von den Engländern LEUTHWEITE¹ und WOODWARD² bekannt gemacht, und durch einige neue Erfahrungen vermehrt worden. Das Merkwürdige in diesen Versuchen ist, daß derselbe Schlag einer großen Flasche oder Batterie, wenn dieselbe durch bloß metallene Leiter entladen wird, das Schießpulver bloß zerstreut, ohne es zu entzünden. Die von LEUTHWEITE gebrauchte Flasche hatte einen Quadratfuß Belegung, und entlud sich von selbst, wenn das Quadrantenelektrometer auf 90° zeigte. Die angewandte Glasröhre war 6 Zoll lang und hatte 0,3 Zoll im Durchmesser. Sie war mit zwei Korkstöpseln geschlossen, durch welche Drähte gingen. a. War die Röhre mit Wasser gefüllt, so entzündete sich das Schießpulver bei 60° Ladung der Flasche, nicht aber bei einer schwächeren. b. Bei der Füllung der Röhre mit Schwefeläther erfolgte die Entzündung nicht eher als bei 60°, bei der Anfüllung mit Alkohol aber schon bei 30°. c. War endlich die Röhre mit Schwefelsäure oder Salzsäure gefüllt, so erfolgte die Entzündung nie, auch wenn die Flasche bis auf 80° geladen war. WOODWARD bemerkte, daß eben so wenig Entzündung des Schießpulvers zu bewirken war, wenn die Leitung durch den thierischen Körper ging, oder durch Wasser, das nicht in Röhren eingeschlossen war, und er erklärt sich dieses letztere daraus, daß das Wasser uneingeschlossen in Röhren dem Durchgange der E. keinen hinlänglichen Widerstand leiste. Indessen muß diese Behauptung beschränkt werden, da, wie mich eigene Versuche belehrt haben, und SCHWEIGGER gleichfalls gefunden hat, die Entzündung gleichfalls öfters gelingt, wenn die metallische Leitung durch einen nafs gemachten Strick unterbrochen wird³. Diese Versuche über die Entzündung des

1 Journal of Science, Litter. and the Arts 1821. XXII. 891. und daraus in Schweigg. J. N. R. XIV. 121. und G. LXIX. 372.

2 Annals of Philosophy 1820. S. 288. und in Schweigg. J. N. R. XIV. 121. Vgl. Sturgeon in Phil. Mag. LXIII. 445.

3 Nach MUXCKE Anfangsgründe der Naturlehre S. 264. erfolgt die Entzündung durch einen im Leitungskreise befindlichen nassen Bindfaden unfehlbar.

Schießpulvers unter den angegebenen Umständen sind übrigens vorzüglich geeignet, das Leitungsvermögen verschiedener Flüssigkeiten vergleichungsweise zu bestimmen, in welcher Rücksicht ich auf dieselben unter dem Artikel: *Leiter* wieder zurückkommen werde.

Es lassen sich mit der Leidner Flasche ungemein viele belehrende und unterhaltende Versuche anstellen. Verzeichnisse und Beschreibungen derselben findet man bei CAVALLO¹, ADAMS², DONNDORF³, CUTHBERTSON⁴, MAINGOSUS GÄLLE⁵, SINGER⁶, u. a. Die stärksten Wirkungen erfolgen aber, wenn mehrere Flaschen mit einander verbunden, und zusammen entladen werden⁷. Von den merkwürdigsten Wirkungen des Entladungsschlages werde ich unter dem Artikel: *Schlag, elektrischer* noch ausführlich handeln, und nur am Ende dieses Artikels diejenigen Versuche einer näheren Erörterung unterwerfen, welche man für vorzüglich entscheidend für die streitige Frage, ob den elektrischen Erscheinungen nur eine oder zwei el. Materien (el. Erregungen) zum Grunde liegen, angesehen hat.

III. Geschichte des Leidner Versuchs.

Schon der Engländer STEPHAN GRAY fühlte im Jahre 1735, als er sich mit Ausziehung elektrischer Funken aus dem Wasser beschäftigte, die Erschütterung der verstärkten E.⁸ Da er aber die Bemerkung nicht weiter verfolgt hat, so kann man ihn nicht als den Erfinder dieses merkwürdigen Versuches ansehen.

Die Ehre, eine so wichtige Entdeckung gemacht zu haben, die alle Naturforscher in Erstaunen setzte, und dem Studium

1 Vollst. Abh. der Lehre von der E. Leipzig 1797. 1ster Band IIIter Theil, 7tes u. 12tes Kap.

2 Versuch über die Elektrizität a. d. E. Leipzig 1785. p. 8. 7tes Kapitel.

3 Lehre von der E. I. Bd. S. 344 f. II. Bd. Kap. 19. S. 825.

4 J. Cuthbertson vollst. Abh. der theor. und prakt. Lehre von der E. a. d. E. von Baumann. Leipzig 1797. 2ter Bd, gr. 8.

5 Beiträge zur Erweiterung und Vervollkommnung der Elektrizitätslehre. Salzb. 1813. 2 Vol. 8.

6 G. J. Singer Elemente der Elektrizität und Elektrochemie. Uebers. von C. H. Müller. Berlin 1819. 5tes Kap. S. 62 f.

7 S. *Batterie, elektrische*.

8 Ph. Tr. No. 436. J. D. THOMAS de electrici experimenti Lugdunensis inventore primo. Witteb. 1771. 4.

der E. ein neues Leben gab, gehört unstreitig einem deutschen Prälaten, v. KLEIST, Dechanten des Domcapitels zu Camin in Pommern, welcher am 11ten Oct. 1745 die verstärkte E. selbst entdeckte, am 4ten November darauf dem Dr. LIEBERKÜHN in Berlin, am 28. Nov. dem Prediger SWIERLICK in Danzig und bald darauf dem Professor KRÜGER in Halle Nachricht davon gab, welche der erste der Berliner Akademie der Wissenschaften, der zweite der Danziger naturforschenden Gesellschaft mittheilte, und der dritte¹ schon 1746 drucken liefs. Diese Nachrichten enthalten Folgendes. „Wenn ein Nagel oder starker messingener Draht in ein kleines Arzneyglas gesteckt und elektrisirt wird, so erfolgen besonders starke Wirkungen. Das Gläschen muß recht trocken oder warm seyn. Man kann es vorher mit Kreide reiben. Thut man ein wenig Quecksilber oder Wasser hinein, so geht alles noch besser von statten. Sobald das Gläschen von der elektrischen Röhre weggenommen wird, so äußert sich der leuchtende Strahlenbüschel, und man kann mit dieser brennenden Maschine über 60 Schritte weit im Zimmer herumgehen. Wird während dem Elektrisiren der Finger oder ein Stück Geld an den Nagel gehalten, so ist der herausfahrende Schlag so stark, daß Arme und Achseln davon erschüttelt werden. Eine isolirte Röhre läßt sich dadurch weit stärker elektrisiren, als unmittelbar durch die Kugel. Wird ein Conductor elektrisirt, der im Gläschen befindliche Nagel daran gehalten, und mit dem Elektrisiren fortgeföhren, so sollte man kaum glauben, in welche Stärke die Electricität gesetzt werde. Ist das Gläschen niedrig, daß sich die Finger in der gehörigen Weite befinden, so schlägt der Funke von selbst aus dem Nagel auf den Finger zu. Dünnhälsige Gläser sind ein paarmal durch den heftigen Schlag zersprengt worden“ u. s. w. Man sieht, daß hierbei das Glas wirklich geladen war, wobei das hineingegossene Wasser oder Quecksilber die innre, die darum gelegte Hand aber die äußere Belegung ausmachte. Man bemühte sich in Danzig den Versuch nachzuahmen, und GRABATH war der erste, dem er gelang, jedoch erst, nach erhaltener ausführlicher Anweisung durch v. KLEIST, welche 1747² öffentlich bekannt gemacht wurde.

1 Krüger's Geschichte der Erde. Halle 1746. 8. S. 177 f.

2 Abh. der naturf. Gesellschaft in Danzig Th. I. 1747. 4. S. 512.

Zu Anfang des Jahres 1746 schrieb MUSSCHENBROEK aus Leiden an REAUMÜR, er sey auf einen schrecklichen Versuch gerathen, mit einer Erschütterung, der er sich nicht für die Krone Frankreichs zum zweitenmal aussetzen möchte; ALLAMAND, ebenfalls Professor in Leiden, wiederholte dieses in einem Briefe an NOLLET, und im Februar auch in einem eigenen Aufsätze¹. Der Abt NOLLET nannte daher die Entdeckung den *Leidner Versuch*, welchen Namen sie auch behalten hat, ob sie gleich weit richtiger der *Kleist'sche Versuch* heisset. Man fing in Frankreich an, MUSSCHENBROEK für den Erfinder zu halten, als ALLAMAND noch im Jahre 1746 sowohl an NOLLET als an GRALATH meldete, die erste Entdeckung gehöre eigentlich einem angesehenen Privatmanne CUNAEUS zu, der schon 1745 zufälliger Weise darauf gekommen sey. Es ist nicht wahrscheinlich, daß dieser Mann etwas von der Entdeckung des deutschen Prälaten gewußt habe; inzwischen bleibt diesem letztern unstreitig das Verdienst der ersten Erfindung und Bekanntmachung.

MUSSCHENBROEK erzählt, er und sein Freund hätten darauf gedacht, elektrisirte Körper, weil sie an der Luft die Electricität bald verlören, zu isoliren, und hätten daher Wasser in gläsernen Flaschen durch einen mit der Maschine communicirenden Draht elektrisirt. Dabei habe er, als er eine solche Flasche in der einen Hand gehalten, und mit der andern Hand den Draht von der Maschine habe losmachen wollen, einen schrecklichen Schlag in seinen Armen und der Brust bekommen, den sie alle bei wiederholtem Versuche ebenfalls empfunden hätten, und von dessen Wirkung auf den Körper sie fürchterliche Beschreibungen machen.

Diese Nachrichten erregten ein unbeschreibliches Aufsehen und machten die E. zum Gegenstande der allgemeinen Unterredung. Der Kreis der Erfahrungen über die Leidner Flasche erweiterte sich eben darum so schnell, weil in allen Gegenden die Physiker sich damit beschäftigten. GRALATH in Danzig war einer der ersten, welcher der Erfindung etwas Bedeutendes zusetzte. Er vertauschte Gläschen, Nagel und Weingeist mit einer größern Flasche, einem Drahte mit der Kugel und mit Wasser, zeigte schon den 20. April 1746 einen Verbindungs-

¹ Mém. de l'Acad. des Sciences 1746. p. 2.

kreis von 20 Personen, erfand die Batterie, und entdeckte die Unmöglichkeit zersprungene Flaschen zu laden, desgleichen den sogenannten Ueberrest der Ladung. WINKLER in Leipzig, dem die Erschütterung sehr empfindlich gewesen war, und welcher sogar ein hitziges Fieber davon zu erhalten gefürchtet hatte¹, erfand eine Veranstaltung, eine unvollkommene Art von Lane'schem Ausladeelektrometer, die Explosion von ferne zu beobachten, und stellte die eben angeführten Versuche an, wobei ein Theil der Pleiße in die Verbindung gebracht ward. Die meisten Experimente aber hat Dr. WATSON in den Jahren 1746, 1747 u. 1748² hinzugefügt. Er fand, daß die Stärke des Schlags nicht von der Menge der Materie (des Wassers oder Schrots) in der Flasche, sondern bloß von der Größe der Fläche, die sie berührt, abhängt, und daß dasselbe auch für die äußere Fläche in Beziehung auf die sie anfassende Hand gelte, welches dem Dr. BEWIS die Veranlassung gab, die Belegung mit Zinnfolie (er nahm zuerst Bleiplatten) zu erfinden, auch damals schon Silberblättchen sowohl zur Belegung von Flaschen als von Glasplatten zu gebrauchen³. Er gab zuerst eine Erklärung des räthselhaften Phänomens der Ladung, und ordnete 1747 und 1748 die in's Große gehenden Versuche über die Verbindungskreise und die Geschwindigkeit des Schlags an. WILSON⁴ tauchte die Flaschen auch von außen in Wasser, entdeckte das wahre Verhältniß der Stärke des Schlags, nahm wahr, daß derselbe den Weg wähle, bei dem er am wenigsten Widerstand antrifft, bemerkte die Lateralexpllosion u. s. w.

In Frankreich stellte der Abt NOLLET die ersten Versuche an, entdeckte zufällig, daß eine luftleere Flasche alle Dienste einer belegten leiste, machte Verbindungskreise von 180 Personen, die sich mit eisernen Drähten verbanden und einen Umkreis von 900 Toisen bildeten, und tödtete zuerst Thiere durch den Schlag. LE MONNIER fand, daß die Ladung eine

1 An Extract of a Letter etc. in Ph. Tr. Vol. XLIV. P. I. 211.

2 Vorzüglich in einem den 30. Oct. 1746 vorgelesenen und in Ph. Tr. Vol. XLIV. P. II. p. 704. abgedruckten Aufsätze, so wie durch die umständliche Beschreibung der Versuche über die Durchleitung des Erschütterungsschlages durch große Strecken in Ph. Tr. Vol. XLV. p. 49—98.

3 Ph. Tr. Vol. XLV. p. 104.

4 Ebend. Vol. II. L. LI.

Zeitlang (bei kaltem Wetter 36 Stunden) in den Flaschen bleibe, und that sich noch vor Dr. WATSON durch Versuche mit langen Verbindungskreisen hervor.

In England sowohl als in Frankreich hatte man schon wahrgenommen, daß isolirte Flaschen nicht geladen werden konnten, und daß die Belegung geladener Flaschen leichte Körperchen anzog, wenn man den Draht berührte, hingegen dieselben abstieß, wenn man den Finger an die Belegung brachte. Diese Versuche hätten darauf führen können, daß die Elektricitäten beider Seiten entgegengesetzt sind; allein man übersah dieses, und bildete sich ein, das elektrische Fluidum ströme aus der Hand, oder den Leitern, die die Flasche von außen berührten, durch das Glas hindurch in die innere Belegung. Indem also die Erklärung der Leidner Flasche den europäischen Naturforschern ein Geheimniß blieb, verbreitete sich auf einmal ein unerwartetes Licht darüber durch die Briefe des Dr. FRANKLIN in Philadelphia¹, wovon der erste im Jahr 1747 erschien, und an PETER COLLINSON gerichtet war. Dieser scharfsinnige Naturforscher war durch die Erscheinungen, welche sich zeigen, wenn eine auf einem Wackskuchen isolirte Person eine Glasröhre reibt, und eine andere gleichfalls isolirte die Glasröhre berührt und nachher beide Personen entweder eine dritte nicht isolirte oder sich unter einander berühren, bewogen worden, die beiden el. Zustände des Glases und Reibzeuges als Ueberfluß und Mangel einander entgegen zu setzen und durch den Namen der positiven und negativen E. zu unterscheiden². Da er nun bei seinen Versuchen mit der Leidner Flasche gewahr wurde, daß eine an Seide hängende Korkkugel von der äußern Belegung angezogen werde, wenn sie nach vorhergegangener Berührung des mit der innern Seite verbundenen Drahtes von diesem abgestoßen wird, und daß man durch den hierauf gegründeten Versuch mit der el. Spinne die Flasche entladen oder die E. der einen Seite in die andere überführen könne, so folgte aus seinen so wohl überdachten Grundsätzen von selbst, daß bei der Ladung die E. beider Seiten einander entgegengesetzt seyn müß-

¹ New exper. and observ. etc. in several letters to M. Collinson, Lond. 1751. 4.

² S. den Art. *Elektricität*.

ten. Diese Entdeckung liefs ihn tiefe Blicke in das Geheimniß der Leidner Flasche thun, und ob er gleich bei seiner Theorie noch vieles Willkürliche hinzufügen mußte, so erklärte doch dieselbe alle damals bekannten Erscheinungen so deutlich, daß sie den entschiedensten Beifall der meisten seiner Zeitgenossen erhielt. DR. WATSON scheint der einzige gewesen zu seyn, der unabhängig von FRANKLIN aus ähnlichen Versuchen über das Verhalten des Reibzeuges und der Glaskugel beim Reiben unter verschiedenen Umständen gleiche Schlüsse auf ein Abgeben der E. von dem Reibzeuge an die Glaskugel, und einen damit eintretenden relativen Mangel in jenem zog, doch ist die Anwendung, die er davon auf die Erklärung der Leidner Flasche machte, nicht klar und bestimmt¹, und namentlich vermochte er nicht Rechenschaft davon zu geben, warum zur Entladung eine Verbindung beider Belegungen durch Leiter der E. erforderlich sey.

FRANKLIN'S Theorie führte ihren sinnreichen Erfinder auf die Beobachtung vieler neuen Erscheinungen des Ladens, Entladens und el. Schlages, die als unmittelbare Corollarien aus derselben hervorgingen und zu ihrer Bestätigung dienten, und auf die Erfindung einer zahlreichen Menge von neuen Versuchen, so daß das meiste, was noch jetzt über die Leidner Flasche vorgetragen wird, aus seinen Briefen geschöpft ist, welche auf einmal den größten Theil der vorigen Dunkelheit dieser Lehre zerstreuten. Hierzu kamen noch seine vortrefflichen Entdeckungen über den Blitz, die Wirkung der Spitzen u. s. w. und die nützlichen Anwendungen derselben durch die Blitzableiter, die Beobachtungen der Lufterktricität, wovon in diesem Wörterbuche unter besondern Artikeln gehandelt werden wird. Daher erregten seine Briefe mit Recht eine allgemeine Bewunderung; nur einige französische Naturforscher, insbesondere NOLLET, widersprachen seiner Theorie, und bezweifelten den Nutzen seiner Entdeckungen. J. C. WILKE² bereicherte diese Lehre im Jahre 1757 durch seine Versuche über die Ladung verschiedener anderer Nichtleiter, besonders aber einer Luftschicht. Verschiedene andere neue Versuche über die Wirkungen des el. Schlages und die Erscheinungen des el. Lichtes, welche zum Theil zur Bestätigung des Franklin'schen Satzes,

1 Ph. Tr. Vol. XLV. for 1748. p. 93.

2 Schwed. Abh. 20ter Bd. S. 241.

dafs die Entladung stets aus der positiven Seite in die negative gehe, dienen sollten, verdankt man in der nämlichen Zeit dem Pater BECCARIA. Besonders klärte aber das von WILKE¹ und AEPINUS² entdeckte Gesetz der elektrischen Wirkungskreise die Theorie der Leidner Flasche noch mehr auf, und WILKE nahm davon Gelegenheit, alles was bei der Ladung sowohl in den Glasflächen als in den Belegungen vorgeht, genauer zu untersuchen³, wozu er sich eines passenden Apparats aus einer Glasplatte bediente, deren Belegungen von derselben im isolirten Zustande abgezogen werden konnten. Diese Untersuchungen, welche in der Hauptsache auch die Erfindung des Elektrophors enthielten, leiteten WILKE damals auf die Vermuthung, dafs sich die Phänomene der Ladung aus der Hypothese von zweien Materien, die er Feuer und Säure nannte, besser als FRANKLIN'S erklären liefsen, welcher Gedanke durch die neuen Entdeckungen noch mehr bestätigt worden ist.

VOLTA, einem standhaften Anhänger der Franklin'schen Theorie, gebührt vorzüglich das Verdienst, die Erscheinungen der Ladung unter einen allgemeinen Gesichtspunct mit den verwandten Erscheinungen des Elektrophors und Condensators gebracht und das so umfassende Gesetz, dafs ein elektrisirter Körper, wenn er den Zustand eines andern Körpers, der in seinen Wirkungskreis kommt, verändert, dadurch selbst eine Veränderung leidet, und darin so lange beharret, bis der andere Körper aus seinem Wirkungskreise entfernt wird, in das hellste Licht gesetzt und auf die Erklärung der mannigfaltigsten Erscheinungen glücklich angewandt zu haben⁴. In Deutschland hat LICHTENBERG⁵ die Erklärung der Hauptsächlichsten der Leidner Flasche nach unbezweifelt erwiesenen Gesetzen der E. mit grofser Klarheit und durch Bezeichnung der positiven E.

1 J. C. Wilke diss. de electric. contrariis. Rostock 1757.

2 Tentamen theoriae Electricitatis et Magnetismi. Petropoli 1759. 4.

3 Schwed. Abh. 1762. S. 213 u. 253.

4 Vorzüglich in der Abhandlung über den grofsen Vortheil einer sehr unvollkommenen Isolirung in dessen Schriften übersetzt von Nasse S. 95 f. auch in Ph. Tr. für 1782. p. I. und in Roz. Journ. de Physique Tome XXII. und XXIII.

5 In der 8ten Ausgabe von Erxleben's Anfangsgründen der Naturlehre. Göttingen 1794.

mit +, und der negativen mit — so vorgetragen, daß sie sich mit der *Franklin'schen* sowohl als der *Symmer'schen* Theorie von zwei Materien gleich gut in Uebereinstimmung bringen läßt. Der neuesten Zeit war es endlich vorbehalten, auch manche Erscheinungen der Leidner Flasche dem genaueren mathematischen Calcüle zu unterwerfen, und dieses Verdienst hat sich vorzüglich BIOT¹ erworben.

Außer den angeführten Physikern haben noch mehrere andere, insbesondere CAVALLO, HENLY, NAIRNE, LORD MAHON, ADAMS, CUTHBERTSON, NICHOLSON, VAN MARUM, SIGAUD DE LA FOND, SINGER u. a. diese Lehre theils durch interessante Versuche theils durch Apparate bereichert, indess ist davon entweder schon die Rede gewesen, oder sind diese Bereicherungen nicht von der Wichtigkeit, um sie, ohne zu weitläufig zu werden, noch besonders hervorzuheben.

IV. Theorie der Leidner Flasche.

Die unerwartete Entdeckung des Leidner Versuchs setzte die Naturforscher in nicht geringe Verlegenheit. Sie zeigte die Nichtigkeit aller vorhergegangenen Theorien der E., und stellte eine Erscheinung dar, die kein Physiker, vermöge der damals gangbaren Ansichten, hätte voraussagen können. Inzwischen versuchte NOLLET sogleich² seine Hypothese der gleichzeitigen Aus- und Zuflüsse³ darauf anzuwenden. Er erklärte demnach die Erschütterung aus dem heftigen und doppelten Stosse, der durch das Zusammentreffen der el. Ströme im menschlichen Körper u. s. w. entstehe, wenn die Ausflüsse aus dem Knopfe und der Belegung den Zuflüssen aus den beiden Händen des Experimentators begegnen. Das Gefäß müsse von Glas seyn, damit der Draht nicht gleich bei der Berührung der äußern Fläche seine E. durch einen einfachen Funken verliere. Er behauptete schlechterdings, es könne auch eine isolirte Flasche geladen werden, denn seine Hypothese enthielt keinen Grund, warum es unmöglich seyn sollte. Er leugnete beim Entladen die Nothwendigkeit beide Seiten zu verbinden, und sah überhaupt die

1 *Traité de Physique expérimentale et mathématique* Tome II. p. 382.

2 *Mém. de l'acad. royale des Sciences. Année 1746. Pag. 1. suiv.*

3 Vgl. *Elektricität.*

Ladung blofs für Ueberfüllung mit el. Materie an, ohne die entgegengesetzten E. zu unterscheiden. Die ferneren Entdeckungen stellten das gänzlich Ungenügende dieser Theorie bald in das hellste Licht. NOLLET hat sie indels mit einer fast unglaublichen Hartnäckigkeit vertheidigt, und allen seinen Scharfsinn aufgeboten, um die Schwierigkeiten zu heben, die ihm fast jeder neu erfundene Versuch entgegenstellte.

Viel glücklicher war FRANKLIN's Theorie in der Erklärung des Leidner Versuchs, und gerade der Umstand, dafs sie sich auf das Vollkommenste an alle Erscheinungen desselben anschmiegte, und dafs eine Menge von Versuchen, deren Erfolg ihr gemäfs zum Voraus bestimmt worden war, diesen Erfolg genau auch so gaben, trug am meisten zu dem grofsen Beifalle bei, den dieselbe allgemein fand, und bis auf den heutigen Tag bei mehreren Physikern noch findet. Der Hauptgedanke in dieser Theorie ist, dafs die beiden Belege einer geladenen Leidner Flasche sich in einem Gegensatze von Ueberflufs und Mangel befinden, die im Verhältnisse gegen einander stehen, und dafs bei der Entladung die Ausgleichung des Mangels durch den Ueberflufs den natürlichen el. Zustand wieder herstelle. Die Ladung einer Flasche besteht demnach in der Anhäufung der E. auf der mit dem positiven Conductor in Verbindung stehenden Seite, welche aber nur unter der Bedingung erfolgen könne, dafs die äufsere Seite ihren natürlichen Antheil an E. abgeben könne, wodurch ein verhältnißmäfsiger Mangel in ihr eintrete. Der zwischen den beiden Belegungen befindliche Nichtleiter verhalte sich hierbei zwar als undurchdringlich für die E., hindere aber nicht ihre Atmosphärenwirkung durch sich hindurch, vermöge welcher die E. auf der äufsern Belegung zurückgetrieben werde, sich in den allgemeinen Behältern verbreite und den Mangel zur Folge habe. Könne sich daher die Flasche ihrer E. auf der äufsern Seite nicht entledigen, wie in dem Falle, wenn sie isolirt ist, so könne sie auch nicht geladen werden. Umgekehrt finde aber auch keine Ladung statt, wenn die Maschine bei isolirtem Reibzeuge keine E. in das Innere der Flasche zuführen könne. Als besonders entscheidende Beweise für seine Theorie sah FRANKLIN die Versuche an, dafs eine Flasche sich gleichsam durch ihr eigenes el. Fluidum lade, wenn man den unter II. f. beschriebenen Versuch anstellt, in welchem Falle die aus der äufsern Belegung abfließende E. durch das Reibzeug

bei der Bewegung der Elektrisirmaschine der inneren Belegung zugeführt werde, ferner die Ladung einer Reihe von Flaschen an einander, wo die aus der äußern Seite der einen Flasche ausströmende E. sich auf der innern Seite der folgenden anhäufte und durch die von ihr zurückgetriebene E. der äußern Seite der zweiten Flasche die dritte Flasche u. s. f. lade. Die Grenze der Ladung einer Flasche war dieser Theorie gemäß durch die Menge des natürlichen Antheils von E. im Glase selbst bestimmt, mit dessen gänzlicher Austreibung auch keine weitere Anhäufung auf der innern Seite erfolgen könne. So richtig nun auch durch FRANKLIN die wahre Beschaffenheit der Leidner Flasche in Rücksicht auf das entgegengesetzte Verhalten beider Belegungen erkannt, so sinnreich der Zusammenhang der Ladung mit den verschiedenen Bedingungen, unter denen sie erfolgt, bestimmt, und so genügend die Entladung durch die Ausgleichung des Mangels der einen Seite durch den Ueberfluß von der andern Seite her erklärt ward, so war die Theorie, wie sie von FRANKLIN selbst¹ vorgetragen wurde, noch weit entfernt das Wesen und die Bedingungen der Ladungen mit völliger Strenge aus einem einfachen Principe zu erklären, sie stellte gleichsam nur erst eine gröbere Analyse des ganzen Vorgangs der Ladung und Entladung dar, und es mußte erst eine tiefere Einsicht in die Lehre von den el. Wirkungskreisen und der Vertheilung gewonnen werden, die wir vorzüglich den wichtigen Entdeckungen VOLTA's² verdanken, ehe die feinere Analyse gegeben werden konnte. Ich theile diese vorzüglich nach HAUY's und BIOT's Darstellung mit, lege dabei die dualistische Theorie zum Grunde, wie sie unter dem Artikel Elektrizität in ihren Hauptumrissen vorgetragen worden ist, bediene mich aber der Zeichen + und — für die positive und negative Elektrizität und der Worte Binden und Freilassen bei den Wirkungen der Vertheilung; weil sich diese Sprache auch rückwärts in die Franklin'sche Theorie leicht übersetzen läßt, indem durch die nachfolgende Darstellung nur die Fundamentalgesetze dieses Vorganges festgehalten werden, mit welchen jede Theorie in Uebereinstimmung seyn muß, wenn sie nicht ohne Weiteres verworfen werden soll.

¹ S. Benj. Franklin's Briefe von der Elektrizität. Aus dem Englischen übersetzt von J. C. Wilke. Leipzig 1758. 8.

² S. Condensator und Elektrophor.

Es bezeichne D einen Theil des Conductors der Maschine, il, np sey die eine to, sx die andere Belegung, und z die Kette, wodurch diese Belegung mit dem Erdboden verbunden ist. Der Vorgang der Ladung besteht nun allezeit darin, daß die E . von dem Conductor aus, durch welchen die Ladung bewirkt wird, sich nach der Belegung, welche mit diesem Conductor verbunden ist, hinbewegt, sich daselbst anhäuft, und auf der entgegengesetzten Seite nach den allgemeinen el. Gesetzen die gleichnamige zurücktreibt und die entgegengesetzte gegen sich zieht, ohne sich jedoch wegen der Undurchdringlichkeit des Glases mit ihr verbinden zu können. Das Nähere dieses Vorganges ergiebt sich nun durch nachfolgende Analyse. p' sey ein Theilchen von $+E$ (bei vorausgesetzter positiver Ladung) was durch die Kette in irgend einem Zeitpuncte der Ladung entweicht, N sey das Quantum von $-E$, das in diesem Augenblicke der Oberfläche ox und P dasjenige von $+E$, das der Oberfläche in angehört, das Theilchen p' , während es zugleich die Repulsion von P nachgiebt, ist durch die Anziehung von N sollicitirt, welche dasselbe zurück zu halten strebt, und wenn die Repulsion von P das Uebergewicht hat, so muß die Quantität P , da dasselbe überdies aus größerer Entfernung im Verhältniß der Glasesdicke wirkt, während N in unmittelbarer Berührung mit p' steht, oder das $+$ mehr betragen als N oder die Quantität des $-$. Andererseits streben die Theilchen, welche das Fluidum N ausmachen, sich wegen ihrer Repulsivkraft zu fliehen. Diese Kraft ist aber durch die von P gebunden oder durch die Anziehung des P zum N aufgehoben, indem die Theilchen von P durch die Zahl da ersetzen, was sie von Seiten der Entfernung einbüßen. Die Theilchen von P sind gleichfalls durch ihre Repulsivkraft sollicitirt, sich zu fliehen und zu zerstreuen, und diese Kraft kann durch die Anziehung von N nicht ganz überwältigt werden, dessen Quantum geringer ist, und das aus einer größeren Entfernung wirkt, als die Repulsion, von der hier die Rede ist. Es muß also ein Ueberschufs von P da seyn, der nur durch den Widerstand der Luft zurückgehalten wird, und der die freie Spannung auf derjenigen Seite bildet, von welcher die Ladung ausgeht. Man kann sich also vorstellen, daß das P auf der einen Seite aus einer Portion U bestehe, welche längs in durch die Anziehung von N gebunden und zurückgehalten ist, und aus einer andern Portion

U, dessen Theilchen kein anderes Hinderniß für die Wirkung ihrer wechselseitigen Repulsion finden, als den Widerstand der Luft, und welche durch das Elektrometer angezeigt werden. Das Quantum U wird immer geringer seyn als N, weil es trotz der Entfernung, welche durch die Dicke des Glases gegeben ist, doch durch N vollkommen neutralisirt und gebunden wird. Wenn man fortfährt durch den Leiter D E. zuzuführen, so wird die Quantität des $+E$, um welches P zunimmt, die Zersetzung oder Vertheilung eines neuen Antheils des natürlichen Fluidums oder des $0E$., das in ox und den damit verbundenen Körpern vorhanden ist, bestimmen, aber zugleich wird die Anziehung von N, das an Menge zugenommen hat, in Beziehung auf jedes neue Theilchen p' , das zu entweichen strebt, zunehmen, wodurch dann nothwendig erfordert wird, daß die Quantität u von $+E$, die dasjenige, was die Wirksamkeit von $+E$ wegen der Entfernung einbüßt, zu ersetzen hat, ihrerseits wieder zunehme, und es wird endlich ein Zeitpunkt eintreten, wo die Portion u von $+E$ gerade so viel Kraft erlangt haben wird, als erforderlich ist, um dem Widerstande der Luft vollkommen das Gleichgewicht zu halten. Ueber diesen Zeitpunkt hinaus werden alle neue Theilchen von $+E$, welche der Conductor D nach und nach liefert, allmählig entweichen (Ausströmen der Flasche) d. h. die Glasplatte, oder statt deren die Ladungsflasche wird sich auf ihrem Sättigungspuncte befinden, denn alsdann kann kein neuer Antheil von $0E$ in den mit ox verbundenen Körpern zersetzt, kein p' mehr zurückgetrieben, und kein n' angezogen werden, weil eben so stark als die Kraft von P wirken würde, um ein Theilchen $+E$, welches aus der Verbindung treten sollte, zurückzutreiben, eben so stark die Anziehung von N die auf Zurückhaltung des Theilchens gerichtet ist, entgegenwirken würde. Nimmt man in diesem Zustande die Kette ab und berührt die Oberfläche ox , so verändert sich nichts, weil im Wesentlichen alles beim Alten geblieben ist, bringt man dagegen den Finger gegen die Oberfläche in , so findet nicht weiter ein Gleichgewicht statt, weil dann nichts der Wirkung der Portion u des auf dieser Oberfläche befindlichen Fluidums das Gleichgewicht hält, die nur durch den Widerstand der Luft zurückgehalten ist. Sie wird also in den Finger als ein stechender Funke übergehen, wie ihn ein gewöhnlicher Conductor von gleicher Oberfläche,

an welchem die freie E. dieselbe Spannung hätte, geben würde, und die freie Spannung auf dieser Seite wird gänzlich aufhören. Die Portion U hingegen wird fortdauernd durch die Anziehung des Fluidums N in in zurückgehalten werden, und das Gleichgewicht wird zwischen den el. Kräften in Beziehung auf die verschiedenen Punkte dieser Oberfläche in hergestellt seyn. Es wird aber auf der Oberfläche ox eine Störung erlitten haben, weil die Portion des negativen Fluidums, welche durch die Anziehung von u zurückgehalten war, die der Finger wegnahm, nunmehr nur noch durch die umgebende Luft zurückgehalten wird. Die Oberfläche ox wird daher jetzt freie Spannung zeigen und einen Funken geben. So wie man diesen entzogen hat, wird abermals auf der Oberfläche in sich freie Spannung zeigen müssen, weil das P auf derselben, welches durch das N nur mit Hülfe der durch den Finger entzogenen Portion vollkommen gebunden war, nicht mehr gänzlich im Gleichgewicht gehalten und folglich ein verhältnißmäßiger Theil abermals nur durch den Widerstand der Luft zurückgehalten wird, und an den genäherten Finger wieder einen Funken giebt, durch welches abwechselnde Funkennehmen von den beiden Belegungen man also gemäß III. c. die Platte oder Flasche allmählig entladen kann.

Das Gesetz dieser allmähigen Entladung läßt sich nach Brot¹ auf folgende Weise bestimmen. Es drücke in dem Augenblicke, da die Zuleitungskette und der Conductor von den beiden Belegungen der Platte weggenommen worden sind und folglich auf der einen Seite, wenn die Ladung vom positiven Conductor aus erfolgt ist, mehr $+E$, als auf der andern Seite $-e$ sich befindet, $1 : m$ das Verhältniß von $E : e$ aus, indem m einen eigentlichen Bruch, kleiner als 1, bezeichnet und eine gewisse Function von der Dicke der Glasplatte oder überhaupt des belegten Nichtleiters seyn wird. Die Proportion $E : e = 1 : m$ kann man auch durch die Gleichung $mE - e = 0$ darstellen. Berührt man nun die Belegung in mit dem Finger, so verliert diese, wie schon bemerkt, einen Theil ihres $+E$, und dagegen wird ein Theil von $-e$ in ox frei, wodurch sich das Verhältniß von e zu E gerade umkehrt, und so geht es bei jeder wechselseitigen erfolgenden Berührung der

¹ Traité de Physique expérimentale et mathématique Tome II. p. 382 f.

beiden Belegungen. Nennt man daher die Menge der E vor und nach den verschiedenen Berührungen in

$i n$	und	$o x$
E		e
E'		e'
E''		e''

so erhält man folgende Gleichungen und Proportionen

$mE - e = 0$	$E : e = 1 : m$
$E' - me = 0$	$e : E' = 1 : m$
$mE' - e' = 0$	$E' : e' = 1 : m$
$E'' - me' = 0$	$e' : E'' = 1 : m$
$mE'' - e'' = 0$	$E'' : e'' = 1 : m$

woraus ferner folgt

$E' = m^2 E$	$e' = m^2 e = m^3 E$
$E'' = m^2 E' = m^4 E$	$e'' = m^2 e' = m^5 E$
$E - E' = (1 - m^2) E$	$e - e' = (1 - m^2) e = (1 - m^2) m E$
$E' - E'' = (1 - m^2) E'' = (1 - m^2) m^2 E$	$e' - e'' = (1 - m^2) e' = (1 - m^2) m^3 E$

Die Verluste von E , welche die Belegungen $i n$ und $o x$ abwechselnd durch die Berührung erleiden, bilden also eine abnehmende geometrische Reihe, deren erstes Glied $(1 - m^2)$ und deren Exponent m ist.

An diese mathematische Bestimmung schließt sich unmittelbar eine gleich genaue Bestimmung des Gesetzes der Ladung mehrerer Flaschen zugleich an, deren äußere und innere Belegungen abwechselnd in leitende Verbindungen gesetzt werden und auf welches ich unter II. h vorläufig hingewiesen habe. A, B, C , seyen drei belegte Nichtleiter z. B. Glasplatten von gleicher Dimension und Beschaffenheit, wovon je zwei auf die vorerwähnte Art in leitender Verbindung sind, überdies sey die innere, oder sofern es Glasplatten sind, vordere Belegung des ersten Nichtleiters mit dem Conductor der Elektrirmaschine, die äußere oder hintere Belegung der letzten C mit dem Boden in leitender Verbindung. Nach geschehener Ladung finden folgende Bedingungen statt:

für A	$mE - e = 0$
für A und B	$-e + E' = 0$
für B	$mE' - e' = 0$
für B und C	$-e' + E'' = 0$
für C	$mE'' - e'' = 0$

Daraus folgt

$E' = mE$
$E'' = mE' = m^2 E$
$e = mE' = m^2 E$
$e'' = mE'' = m^2 e = m^3 E$

die Ladung der einzelnen Belegungen bildet demnach eine abnehmende geometrische Reihe, deren erstes Glied und deren Exponent m ist.

Alle Phänomene der Entladung einer Flasche durch den el. Schlag nach III. a, der Vertheilung der Ladung einer Flasche nach III. g, der Aufhebung der Ladung durch eine entgegengesetzte nach III. f erklären sich von selbst nach der hier aufgestellten Theorie.

Bringt man beide Hände auf einmal an die äußere und innere Belegung, so fallen alle die Effecte, die bei der allmähigen Entladung successiv waren, gleichsam in einem Augenblicke zusammen. Hierbei muß man sich vorstellen, daß das $+E$ aus dem 0 der Leiter, welche den Verbindungskreis bilden $-E$ anzieht und $+E$ zurücktreibt, und gegentheils das $-E$ der entgegengesetzten Belegung $+E$ oder 0 anzieht, und $-E$ zurücktreibt, die dann ihrer Seits wieder 0 zersetzen, so daß gleichsam in abwechselnden Zonen diese Ausgleichung des $+$ und $-$ von beiden Seiten erfolgt, welches man gewöhnlich den el. Strom oder, bei der Annahme zweier Materien, die el. Ströme nennt. Daß indess auch bei dieser aus dem Gesetze der Vertheilung von selbst sich als nothwendig ergebenden Art der Ausgleichung doch eine wirkliche Durchströmung eines Theils des in der Flasche selbst gebunden gewesen und in der Entdeckung frei werdenden $+$ und $-$ durch die Leiter, welche die Verbindung zwischen den beiden Belegen bilden, statt findet, ergibt sich daraus, daß einerseits das $+$ andererseits das $-$ jene Zersetzung des 0 nur durch seine überwiegende Quantität bewirken kann und also in dem ganzen Fortgange durch den Verbindungskreis ein jedoch fortdauernd abnehmender Antheil von freiem $+$ und $-$ der Flasche selbst sich finden muß, bis diese sich selbst unter einander ausgeglichen haben. Auch läßt es sich bei einer sehr großen Geschwindigkeit der Bildung durch die vollkommensten Leiter, wie die Metalle sind, recht wohl denken, daß es zu einer solchen Bildung von abwechselnden Zonen gar nicht einmal kommt.

Daß bei der Entladung durch einen isolirten Auslader kein vollkommenes Gleichgewicht hergestellt wird, sondern stets ein Antheil der E . derjenigen Seite, von welcher die Ladung ausging, im Ueberschusse sich zeigt, folgt nothwendig daraus, daß das ganze Quantum der $+E$. auf dieser Seite mehr beträgt als

das \mp E, welches durch ersteres auf der entgegengesetzten Seite vollkommen gebunden gehalten wurde, und folglich, man mag das \pm der einen Seite mit dem \mp der andern Seite sich unmittelbar oder nur mittelbar durch \mp , welches von dem \pm der andern Seite aus dem 0 frei gemacht wird, ausgleichen lassen, immer ein Theil \pm ohne ihm entsprechendes \mp frei bleiben wird.

Die Art, wie die Stärke der Ladung von allen Umständen abhängt, die auf dieselbe den Versuchen zufolge, Einfluß haben, leuchtet ebenfalls ein. Je dünner das Glas der Flasche oder Ladungsplatte ist, um so stärker muß sie sich unter übrigen gleichen Umständen laden. Denn einerseits wirkt das \pm der Seite in mit mehr Energie auf das der entgegengesetzten Seite im Verhältnisse der geringeren Entfernung der beiden Flächen von einander, andererseits wird das $-$ der Fläche $otsx$, da es in größerer Menge da ist, im Stande seyn durch seine Anziehung eine größere Menge des \pm auf der Seite $ilpn$ zurückzuhalten, wovon die Folge ist, daß der Sättigungspunct später eintreten wird, als wenn das Glas dicker wäre. Eben so werden bei geringerer Glasesdicke die Quantitäten des \pm und $-$ weniger von einander abweichen, oder was auf eins hinauskommt, die Quantität u , die dasjenige ersetzt, was die Kraft des \pm auf der Seite $inlp$ in Hinsicht auf die Entfernung verliert, und die überhaupt eine Function der Glasesdicke ist, wird im Verhältnisse des U kleiner seyn, weil die Entfernung selbst vermindert ist, und also bei gleicher Quantität u die Summe von $u + U$ oder die Ladung im Ganzen um so größer ausfallen, dergestalt daß die Quantität u Null seyn wird, wenn man die Dicke des Glases verschwindend annimmt. Doch versteht es sich von selbst, daß in der Praxis eine gewisse Dünne nicht überschritten werden darf, weil sonst der Widerstand gegen den Drang der E., die sich zu vereinigen streben, zu klein und noch vor Eintritt des Maximums der Ladung ein Durchbruch erfolgen würde. Ob die Capacität einer Flasche oder Glasplatte bei gleicher Größe der Belegung sich umgekehrt wie die Glasesdicke verhalte, wie CAVENDISH¹ gefunden haben will, verdient inderdeß eine neue Prüfung. Da die Quantität, bis zu welcher u zunehmen kann, eine Function der Dichtigkeit der Luft ist, indem diese in dem Verhältnisse ihrer Dichtigkeit Widerstand

1 Phil. Trans. Vol. LXVI. p. 196.

leistet und bei größerer Dichtigkeit einer größeren Menge das Gleichgewicht hält, unter übrigens gleichen Umständen aber die Größe der Ladung sich nach der Quantität des u richtet, so muß dieselbe Flasche in dichter Luft sich stärker laden lassen, als in dünnerer, und im vollkommen leeren Raume kann eben darum keine Ladung statt finden.

Man übersieht leicht, daß sich alles was beim *Condensator* und *Duplicator* über die Ladung derselben, über ihre Capacität, Tenacität, angeführt wurde, ohne weiteres auch auf die Ladungsplatte und Flasche anwenden läßt und daß der Condensator selbst nichts anderes als ein Ladungsapparat mit einer sehr dünnen Schicht eines Nichtleiters, so wie umgekehrt die Ladungsplatte ein Condensator mit einer viel größeren Dicke des Nichtleiters ist. Bei jenem ist das U im Verhältniß gegen das u bei weitem beträchtlicher, oder seine Capacität ist bei gleicher Oberfläche im Verhältniß der größeren Dünne der isolirenden Schicht bei weitem größer, aber das u darf nur einen sehr schwachen Grad erreichen, und daher kann die Ladung nicht weiter getrieben werden, weil über diesen schwachen Grad hinaus eine Entladung durch die dünne Schicht von Firnis oder die Luftschicht erfolgt; bei der Ladungsplatte beträgt das U im Verhältnisse des u viel weniger, aber das u erreicht einen so viel höheren Grad, je stärker der Widerstand der isolirenden Schicht ist, welcher eben deswegen nicht zu geringe seyn darf, damit die ganze Ladung auf einen ohne Vergleich viel höheren Grad getrieben werden kann.

Der Rückstand der Ladung III. e erklärt sich daraus, daß das Glas nicht absolut, sondern nur relativ undurchdringlich für das el. Fluidum ist. So wie die Ladung zunimmt, wird ohne Zweifel mehr und mehr das el. Fluidum durch die Repulsivkraft seiner Theilchen in das Glas hineingeprefst, da sein Drang vorzüglich einwärts gegen das auf der anderen Seite angehäuften entgegengesetzte Fluidum gerichtet ist. Im Augenblicke der ersten Entladung gleicht sich nur dasjenige Fluidum mit seinem Gegensatze aus, das sich im verdichteten Zustande zunächst an der Oberfläche des Glases befindet, da wegen der Hemmung, welche das Glas der Fortleitung entgegensetzt, das mehr nach Innen befindliche nicht schnell genug hinzuströmen kann. Da nun aber die repulsive Kraft, welche diesen Theil vorher noch einwärts drängte, durch die Entladung selbst entfernt ist, so

zieht er sich mit dem Grade freier Expansivkraft, die ihm zukommt, und die vorher im Gleichgewichte gehalten war, allmählig nach außen, und giebt zu einer zweiten Entladung Veranlassung, da auch hier mit einem *u* ein *U* im Verhältnisse steht, und man begreift leicht, daß bei großer Capacität selbst bei sehr geringer Spannung noch hinlänglicher Vorrath für eine dritte und vierte Entladung vorhanden seyn kann. Daß die *E.* von der Belegung auf das Glas selbst übergehe, kann nach den unter *II. m.* angeführten Erscheinungen nicht bezweifelt werden. Daß das Eindringen derselben in die Substanz des Glases sich nur auf die ersten an Dicke gleichsam verschwindenden Schichten beziehe, erhellet daraus, daß nach *CAVALLO*¹ Glaskugeln, die kaum $\frac{1}{100}$ Zoll dick sind, sich noch sehr gut laden lassen, und ihre Ladung lange Zeit behalten. Unter günstigen Umständen mag indels doch eine Durchdringung des Glases ohne Aufhebung seiner Cohäsion statt finden können. *CANTON* ladete einige sehr dünne Glaskugeln von 1,5 Zoll im Durchmesser, welche ohngefähr 9/10 lange Röhren hatten, und versiegelte sie nach dem Laden hermetisch. Wenn man an diese Kugeln, wenn sie kalt waren, ein Elektrometer brachte, so zeigten sie keine *E.*, wenn man sie aber ein wenig ans Feuer hielt, so fand man sie stark elektrisch und sie zeigten diejenige Art der *E.* mit der ihre innere Seite geladen war. Wurde dieser Versuch oft wiederholt, so verloren diese Glaskugeln bald ihre Kraft, dagegen ruhig unter Wasser aufbewahrt behielten sie ihre Kraft Jahre lang. Dieser letztere Umstand scheint zu beweisen, daß die Wärme nicht etwa das Glas zu einem bessern Leiter der vertheilenden Wirkung der *E.* macht, sondern zu einem bessern Leiter durch sich selbst hindurch, so daß die im Innern angehäuften *E.* sich allmählig nach außen zieht und zerstreut, denn daß die auf der äußern Seite befindliche *E.* die im Innern angehäuften nicht ganz binden könnte, sondern daß letztere bei diesem allmählichen Durchgange stets mit freier Spannung auftreten mußte, bedarf nach dem obigen keiner weiteren Auseinandersetzung. Aus der Erhöhung der leitenden Kraft des Glases durch die Erwärmung erklärt sich dann auch, wie sich die letzten Spuren der Ladung einer Flasche, nachdem die beiden Belegungen durch einen Auslader längere Zeit in Verbindung geblieben sind,

¹ a. a. O. I. Bd. S. 295.

zum Vorschein bringen lassen, wenn man die Flasche erwärmt. Wenn auch diese kleinen Reste nicht im Stande sind, die leiseste Erschütterung zu geben, so kann man sie doch durch die Ladung des Condensators sehr merklich machen, wie READ ¹ zuerst gezeigt hat.

Die starken Wirkungen der geladenen Flaschen in Ertheilung heftiger Erschütterungen, die kräftigen mechanischen und chemischen Wirkungen derselben ² haben nichts auffallendes, sobald man nur auf die große Capacität dieser Flaschen für E. gehörige Rücksicht nimmt, und daß bei einer gegebenen Spannung sich in dem Verhältnisse dieser Capacität, die von der Gegenwirkung der El. auf der andern Seite abhängt, weit mehr E. auf derselben Oberfläche befindet, als auf der eines gewöhnlichen Leiters, welcher bloß von der Luft umgeben ist. Diese viel größere Quantität muß, da in der Explosion ihre ganze Wirksamkeit sich gleichsam in einen Augenblick concentrirt, auch um so größere Wirkungen hervorbringen. Richtet man die Umstände so ein, daß auch von den Conductoren der Elektrirmaschine eine verhältnißmäßig gleich große Quantität in ihren Funken auf einmal zur Wirksamkeit kommt, so kann man mit diesem sogenannten einfachen Funken alle Wirkungen der verstärkten E. nachahmen, wie VOLTA zuerst in das hellste Licht gesetzt hat ³. Sehr lange und dünne Conductoren, die bei gleicher Oberfläche eine viel größere Capacität als kurze Conductoren von einem großen Durchmesser haben, geben keine schneidende, sondern ganz dieselben erschütternden Funken, die bis in die Brust dringen wie von kleinen Leidner Flaschen, wenn man mit dem zum feuchten Erdboden oder in einen Brunnen führenden Ableitungsdrahte in Verbindung steht. Steht man auf dem bloßen Fußboden von Brettern, und zieht man den Funken aus einem solchen langen und dünnen Conductor wie derjenige VOLTA's, welcher 96 Fuß Länge und nur 6 Linien im Durchmesser hatte, so erhält man dieselben kurzen, röthlichen, zischenden und gleichsam fressend nagenden Funken, welche man aus dem Leiter erhält, an welchem eine Leidner

1 Summary View of the spontaneous Electricity p. 16.

2 Vgl. Batterie und Schlag, elektrischer.

3 In seiner interessanten Abhandlung über die Capacität der el. Leiter u. s. w. Alex. Volta's Schriften u. s. w. v. Dr. Nasse. Halle 1803.

Flasche geladen wird. VOLTA fand die Capacität jenes Conductors gleich derjenigen einer Flasche oder mäfsig dünnen Glasplatte von 4 Quadratzoll Belegung, und bei gleicher Spannung die Wirkung so gut wie vollkommen übereinstimmend.

Die merkwürdige Erfahrung CUTHBERTSON's, dafs sich die Flaschen auf einen höhern Grad laden lassen, wenn der innere unbelegte Theil schwach angehäuft wird, und damit einen dünnen Ueberzug von Feuchtigkeit erhält, erklärt sich daraus, dafs sich die E. auch an diesen Theil der Oberfläche hinzieht, ohne jedoch sich hier von einem Punkte aus wegen des Anhaftens an die Glasfläche und der unvollkommenen Leitung dieses Ueberzugs auf einmal entladen zu können, während die Repulsivkraft der hier haftenden E. durch ihre Entgegenwirkung zugleich die Selbstentladung des innern Beleges und des zuführenden Drahtes verhindert, da diese durch ein Hinausstreben der auf denselben verdichteten E. durch ihre Repulsivkraft bedingt ist ¹.

Es ist schon oben bemerkt, dafs die bisher mitgetheilte Erklärung, welche zwei gleich reelle el. Materien oder Erregungen voraussetzt, sich leicht auch in die Sprache des *Monoelectricismus* übersetzen lassen. Die Hauptverschiedenheit, die in jeder besondern Erklärung wiederkehrt, reducirt sich darauf, dafs nach der ersten Theorie eine Wechselwirkung und die concurrirende Thätigkeit anziehender und repulsiver Kräfte in Betracht gezogen werden mufs, nach der Theorie *einer* Materie dagegen nur eine *einseitige* Thätigkeit und eine einfache Wirkung einer Repulsivkraft, die sich allenthalben ins Gleichgewicht zu setzen sucht, zu berücksichtigen ist. Gerade aber die Erscheinungen der Leidner Flasche und die sie begleitenden Wirkungen sind von mehreren Physikern als vorzüglich entscheidende Beweise für die Richtigkeit der Franklin'schen Theorie angesehen worden, und man hat sich in dieser Hinsicht besonders auf gewisse Versuche als *experimenta crucis* berufen. Ehe ich diese einer besondern Erörterung unterwerfe, mögen noch zwei Theorien des Kleist'schen Versuchs hier als jam schicklichsten Orte gewürdigt werden, wovon die eine mit der Theorie zweier Materien zwar nahe verwandt ist, doch aber in einigen wesentlichen Punkten von derselben abweicht, die andere dagegen sowohl mit dieser als jeder andern Erklärung,

¹ Vgl. G. II. 18 f. und bes. die Anm. S. 19.

welche ein el. Fluidum ihrer Constructionen der Phänomene zum Grunde legt, im geraden Widerspruche steht.

Die eine Erklärung ist von DE LÜC, der seine Theorie der E., von welcher bereits die Grundzüge unter dem Artikel: *Elektricität* mitgetheilt sind, auch auf die Erklärung der Phänomene der Ladung angewandt hat. Zur Verdeutlichung nimmt DE LÜC auch hier die Analogie zwischen dem el. Fluidum und den Wasserdämpfen zu Hülfe. Man denke sich eine Glasplatte von beiden Seiten mit Wasser umfaßt, gegen deren eine Seite A sich heisse Wasserdünste bewegen. So wie diese an die kältere Platte kommen, erkalten sie, ihr frei gewordenes Feuer (das fortleitende Fluidum derselben) verbreitet sich über die ganze Platte, und das von ihm verlassene Wasser vermehrt dasjenige Wasser, womit die Seite A schon vorher bedeckt war. Das hinzugekommene frei gewordene Feuer dringt aber durch die Glasplatte auf die Seite B, verstärkt daselbst die Ausdünstung und vermindert also das Wasser, das B bekleidete. Diese Veränderungen gehen so lange fort, bis Glasplatte und Wasser die Temperatur der heißen Dünste angenommen haben. Als dann hören die Dünste auf, sich bei A zu zersetzen, es geht kein Feuer mehr nach B über und die ungleiche Vertheilung des Wassers in A und B hat ihr Größtes erreicht. Weil B weiter von der Quelle der Wärme abliegt, so kann es ein wenig kälter als A seyn und die Dünste können etwas weniger ausdehnende Kraft bei B haben als bei A.

Etwas ganz Analoges geschieht bei der Ladung der Kleist'schen Flasche. Man darf nur für Dünste Elektricität, für Feuer fortleitendes el. Fluidum, für Wasser elektrische Materie setzen, so sieht man, warum die eine Seite bis zu einem gewissen Größten el. Materie verlieren muß, indem die andere mehr erhält, wofern jene nur mit dem Boden verbunden ist, als der Bedingung, unter welcher für die Entweichung der E. und in ihr der el. Materie derselbe Fall eintritt, wie für die Abnahme des Wassers auf der Seite B durch Ausdünstung. Am Ende der Ladung hat dann A el. Materie gewonnen, B dergleichen verloren, aber der Gewinn im A ist größer als der Verlust in B, weil der Hang des fortleitenden Fluidums von A nach B zu gehen durch die Entfernung, die das Glas zwischen sie setzt, geschwächt wird. Die E. in A hat so viel ausdehnende Kraft als die in der Quelle, welche die Ladung hervorgebracht hat; die in B so viel als die

im Boden, welcher mit A in Verbindung ist; das fortleitende Fluidum aber (nach dem Beispiele des Feuers in dem zuerst angenommenen Falle) hat in der ganzen Flasche an Menge zugenommen und ist durch A und B fast gleich vertheilt. Den Vorgang der allmähigen Entladung durch Funken, die man abwechselnd aus der innern und äußern Belegung nimmt, wobei man jedesmal bei dem Knopfe oder überhaupt bei der Seite, die mit dem Conductor in Verbindung gewesen ist, den Anfang machen muß, erklärt diese Theorie auf folgende Weise. B ist mit dem Boden im Gleichgewichte, also ist die Berührung davon unwirksam. A aber giebt so viel E. ab, als der Stärke des ladenden Conductors gemäß ist, weil es mit diesem gleiche ausdehnende Kraft hat. Dadurch geht fortleitendes Fluidum aus dem ganzen Apparate, also auch aus B hinein; dadurch verliert B an ausdehnender Kraft, und kommt aus dem Gleichgewichte mit dem Boden. Berührt man nun B, so geht mit einem Funken zur Wiederherstellung des Gleichgewichts el. Fluidum auf dasselbe über, dieses giebt die el. Materie an B ab, sein fortleitendes Fluidum vertheilt sich aber durch den ganzen Apparat, und gelangt also auch durch das Glas hindurch nach A, das dadurch wieder an ausdehnender Kraft zunimmt, und das Gleichgewicht mit dem Boden verliert. Daher kann man nun wieder einen Funken aus A ziehen u. s. f. So verliert A bei jedem Funken etwas el. Materie, B bekommt aber bei jedem neue, bis endlich durch Fortsetzung des Verfahrens beide fast gleichviel haben und die Flasche entladen ist. Die plötzliche Entladung ist nichts anders, als eine schnelle Succession eben derselben Wirkungen. Die Entladung aber ist nie vollständig, weil die el. Materie an die nicht leitende Substanz sich fest anhängt.

So genau auch diese Erklärung sich an die Erscheinungen der Leidner Flasche anschmiegt, und von den wichtigsten Modificationen derselben genügende Rechenschaft zu geben scheint, so stehen ihr doch außer den Einwürfen, die ich unter dem Artikel *Elektricität* gegen die Theorie im Allgemeinen geltend gemacht habe, noch besondere Schwierigkeiten entgegen. Es müßte nämlich offenbar die Größe des unbelegten Randes bei gleicher Größe der Belegungen einen bedeutenden Einfluß auf die Ladung haben, da das durch die Zersetzung des el. Fluidums auf der mit dem Conductor in Verbindung stehenden Seite freigewordene fortleitende Fluidum bei einer größeren Ausdeh-

nung dieses unbelegten Randes sich auf der Oberfläche desselben und in der Masse des zu demselben gehörigen Gases in verhältnißmäßig größerer Menge verbreiten und also der Verlust von el. Materie auf der entgegengesetzten Seite verhältnißmäßig geringer ausfallen würde, gerade so wie bei einer Glas- tafel, die auf beiden Seiten in der Ausdehnung der Belegungen einer Ladungsplatte mit Wasser bedeckt wäre, bei der Zuführung einer gleichen Menge von Wasserdämpfen die Verdunstung des Wassers auf der entgegengesetzten Seite bei einer größeren Ausdehnung der Glasplatte geringer ausfallen müßte, weil weniger Wärme von den zersetzten Dämpfen dahin gelangen würde; es müßten sich bei gleicher Glasesdicke und gleicher Größe der Belegung und bei gleichem Zuflusse aus einer Elektri- citätsquelle die verschiedensten el. Zustände auf der entgegen- gesetzten Seite einfinden können, und die negative Ladung, die lediglich von der Menge des nach der entgegengesetzten Seite gelangenden fortleitenden Fluidums abhängt, in den ver- schiedensten Verhältnissen mit der positiven Ladung stehen, wovon aber nicht die geringste Andeutung in der Erscheinung liegt. Da ferner zur Erklärung der plötzlichen Entladung durch Verbindungen der beiden Belegungen durch einen Leiter ein gleichsam instantanes Durchströmen des fortleitenden Fluidums durch die ganze Dicke des Glases angenommen werden muß, so würde daraus folgen, daß die Ungleichheit in der ausdehnen- den Kraft auf den beiden Seiten, worauf die freie Spannung der positiv geladenen Seite beruht, und wovon eben die Dicke des Glases die Ursache seyn soll, sich in sehr kurzer Zeit ausglei- chen, und beide Belegungen dann ein Uebergewicht von freier Spannung in Beziehung auf die im natürlichen Zustande befind- lichen Körper zeigen müßten, womit aber gleichfalls die Er- fahrung nicht übereinstimmt.

Von einer ganz andern Art, als die eben mitgetheilte, ist die Erklärung, welche neuerlich G. F. POHL¹ im Zusammen- hange mit einer durchgreifenden dynamischen Darstellung des Galvanismus, Electricismus, Chemismus und Magnetismus von den Phänomenen der Ladung gegeben hat, und welche hier eine Erwähnung verdient, da sie sich nicht auf eine bloße An-

1 Der Proceß der galvanischen Kette. Berlin 1826. S. 333.
IV. Bd.

deutung im Allgemeinen beschränkt, sondern in das Einzelne der Erscheinungen eingeht, und von manchen Lesern in Deutschland auf die sogenannten naturphilosophischen Formeln immer noch ein Werth gelegt wird. Ihm zufolge ist die el. Ladung ganz übereinstimmend mit dem Vorgange, welcher statt findet, wenn ein Element der Ritter'schen Ladungssäule¹ zwischen die Pole einer galvanischen Säule eingeschlossen ist. Der Hauptleiter soll sich nämlich zwischen dem geriebenen Glase der Elektrisirmaschine und dem Glase der Verstärkungsflasche, so wie eine zwischen zwei flüssigen Schichten in der Ladungssäule liegende Metallplatte in zwei Erregungszonen theilen; er soll nach der Maschine hin positiv bleiben, nach dem Glase hin negativ werden, in gleicher Art soll die Leitung zwischen dem äußern Belege und dem Reibzeuge (der kräftigsten Art zu laden) nach jener hin positiv, nach diesem hin negativ, und zwischen beiden das Glas in der Berührung mit dem innern Belege positiv, mit dem äußern negativ erregt seyn. Je mehr die Spannung in der Erregung beider Belege wächst, und sich reagirend zum Ueberschlagen nach der entgegengesetzten Seite hinneigt, um so beharrlicher tritt ihr die bindende Erregung des Glases auf seinen beiden Seiten entgegen. So wie aber die Flasche den geschlossenen Kreis der Kette verläßt, tritt die Macht der Reaction des Metalls gewaltsam hervor, und das Glas vermag nicht mehr so vollständig zu fesseln. Es behauptet sich zwar gegen die innere Belegung zu in der positiven Erregung, und hält diese auf der inneren ihm zugewandten Seite in der negativen Erregung fest, aber nach außen hin ist jetzt dieselbe Belegung durch Reaction überwiegend positiv. Eben so ist das Glas nach der äußern Belegung zu negativ, und also ist diese auf der innern, dem Glase zugekehrten, Fläche positiv, aber nach außen hin ist dieselbe Belegung durch Reaction überwiegend negativ thätig. Wird in diesem Zustande eine von beiden, etwa die innere, isolirt vom Glase aufgehoben, so zeigt sie durchgehends eine positive Erregung, die aber bei weitem nicht mehr so stark erscheint, als sie vorher während der Verbindung mit dem Glase war, weil der größere Theil der überwiegend reagirenden positiven Thätigkeit in der frei gewordenen negativen Erregung, die so lange durch die positive Erregung des

¹ S. *Galvanismus und Säule, Volta'sche.*

Glases gebunden wurde, erloschen ist. Bei der Entladung findet keine vollkommene Indifferenzirung statt, sondern dieser der Schließung einer Kette zu vergleichende Vorgang kann nur das Erlöschen der überwiegenden positiven Erregung der innern Belegung in der entgegengesetzten negativen Thätigkeit der äußeren zur Folge haben, während die negative Erregung der innern Belegung durch die positive des Glases, so wie die positive der äußern Belegung durch die negative des Glases gebunden bleibt. Nach dieser Schließung ist also das Ganze vollkommen in dem Zustande eines von Beleg zu Beleg geschlossenen Elektrophors. Aber mit dieser ersten ursprünglichen Schließung der Flasche geschieht unmittelbar an ihr selbst noch mehr als eine bloße Indifferenzirung der überwiegenden reagirenden Thätigkeiten beider Belegungen, vielmehr tritt das Glas während der unmittelbaren Verbindung derselben abermals mit aufs Neue gereizter Kraft in gesteigerte eigene Erregung der Erregung der beiden Belegungen entgegen, und bindet aufser dem Antheile, der es vorher schon im Widerstreite mit dem mächtigen Drange der Reaction des Metalls gefesselt hielt, auf jeder Seite noch ein gewisses Quantum der in der Belegung theils vorhandenen, theils neu hervorgerufenen Erregung mehr, welches um so größer ist, je größer die Intensität der Thätigkeit des Ganzen, und die sogenannte Ladung ursprünglich war. Unmittelbar nach diesem Momente binden sich alsdann, wenn die Schließung aufgehoben wird, die entgegengesetzten Erregungen auf jeder Seite vollkommen, und es findet scheinbar das entschiedenste Gleichgewicht statt. Nach einiger Zeit aber vermag das Glas dem Drange der Reaction des Metalls mit derselben Energie der Thätigkeit, zu welcher es im Momente der Schließung gereizt wurde, nicht ferner mehr das Gleichgewicht zu halten, es sinkt allmählig wieder auf einen geringern Grad der Erregungsthätigkeit herab, und das innere Beleg reagirt aufs Neue mit positiv, das äußere mit negativ thätiger Erregung, nur, wie sich von selbst versteht, in schwächerem Grade als in der ursprünglichen Ladung, und diese durch eine zweite und dritte Schließung nur immer schwächer wieder hervorzurufende und gleichsam eine neue Ladung darstellende Reaction bildet das, was man gewöhnlich den Rückstand der Ladung genannt hat, und was bei der gewöhnlichen Deutung als ein bloß zufälliges (!) Phänomen erscheint, während es dieser Ansicht

zufolge in einem nothwendigen und!gesetzmäfsigen Zusammenhange mit der Ladung steht.

So viele neue Kräfte und Wirkungsgesetze als hier postulirt werden, um die Erscheinungen mit einander zu verknüpfen, können nur zugelassen werden, wenn mit strenger Genauigkeit nachgewiesen ist, dafs die bisherigen Erklärungen auf keine Weise zureichen, und dafs eben diese Kräfte ein fruchtbares Erklärungsprincip nicht blofs für diese abgerissenen Phänomene, sondern für eine grofse Mannigfaltigkeit anderer, theils zu einer Classe mit diesen gehörigen, theils verwandter Erscheinungen abgehen, und dafs dadurch überhaupt unsere Naturansicht mehr Einheit, Consequenz und Schärfe gewinnt. Wie wenig dieses indels durch die mitgetheilte dynamische Darstellung geleistet werde, wie sehr alles Mafs dabei aufser Acht gelassen sey, davon werde ich im Artikel: *Galvanismus* Rechenschaft zu geben suchen, in Beziehung auf welchen G. F. POHL's Erklärung darum Aufmerksamkeit verdient, weil sie Schwierigkeiten zu heben scheint, welche die herrschenden Ansichten übrig lassen. Indels durch den Widerspruch der Erscheinungen selbst mit dieser dynamischen Erklärung, der sich schon auf diesem beschränkteren Gebiete zeigt, mufs sie verdächtig werden. Es ist nämlich unrichtig, dafs die positive Belegung, wenn sie vom Glase entfernt wird, an Spannung abnehme, wie das Gegentheil davon bereits aus dem im Jahre 1762 von WILKE¹ angestellten Versuchen hervorgeht, und wenn das positiv erregte Glas im Augenblicke der Entladung gleichsam aufgereizt (!) mehr negative Erregung hervorzurufen und zu fesseln vermag, als später, wenn seine Kraft, (wie wenn es ermüdet würde, und nach den Gesetzen des Lebens thätig wäre) wieder nachläfst, so müfste die vorher positiv geladene innere Belegung in der Erscheinung des Rückstandes der Ladung vielmehr mit *negativer* Erregung und so die äufsere Belegung umgekehrt mit *positiver* auftreten, wovon aber die Erfahrung abermals das Gegentheil zeigt.

1 Schwed. Abh. für 1762 S. 258 — 261.

V. Erörterung der Versuche mit der Leidner Flasche, welche zum Beweise der Franklin'schen Theorie gebraucht werden, und Gegenbeweise dagegen aus einigen bei der Entladung vorkommenden Erscheinungen.

Die Franklin'sche Theorie erklärt, wie wir oben gesehen haben, die Erscheinungen der Leidner Flasche aus einer einzigen el. Materie, indem sie auf der positiven Seite einen Ueberfluß, auf der negativen Seite einen Mangel derselben annimmt und die Entladung als eine Ausgleichung des Mangels durch den Ueberfluß ansieht, wodurch bei der Proportionalität derselben in Vergleichung mit dem natürlichen el. Zustande dieser selbst wieder hergestellt werde. Dieser Theorie zufolge müßte demnach die Bewegung des el. Fluidums in der Entladung eine einseitige Richtung von der + nach der — Seite haben, und die Spuren dieser Bewegung und ihrer Richtung müßten sich analog mit den Erscheinungen, die ein auf diese Weise sich bewegendes el. Fluidum, oder überhaupt eine nach einer Seite hinwirkende mechanische Gewalt in der Erfahrung wirklich zeigt, in den Wirkungen, die von der Entladung abhängen, in der That nachweisen lassen. Einen solchen entscheidenden Beweis glauben auch die Franklinianer durch das Verhalten des Flaschenschlages aufstellen zu können, und namentlich hat CAVALLO mehrere Versuche dieser Art¹ beschrieben, durch welche diese einseitige Richtung von der + nach der — Seite außer allem Zweifel gesetzt werden soll.

a. Man hat sich vor allem auf gewisse Erscheinungen, welche Charten oder Pappblätter beim Durchbohren durch einen el. Schlag zeigen, berufen. Der Hauptversuch dieser Art soll zuerst von dem Genfer LULLIN angestellt worden seyn. Man stelle eine Charte mn zwischen die beiden Spitzen des Henley'schen allgemeinen Ausladers, so daß sie in einiger Entfernung von einander beide die Charte berühren, die Spitze a, welche beim Entladen mit dem positiven innern Belege communicirt, in b, die Spitze d, welche mit dem negativen äußern Belege

Fig.
59.

1 Vollst. Abh. 1ster Bd. S. 217 u. f.

verbunden ist, in c. Erfolgt nun der Entladungsschlag, so sieht man längs der Seite des positiven Drahtes a den Funken sich bis zu dem Punkte x hinschlängeln, welcher der negativen Spitze gegenübersteht, hier erfolgt die Durchbohrung, und an der negativen Spitze sieht man einen bloßen leuchtenden Punkt. Derselbe Erfolg findet auch statt, wenn die Flasche negativ geladen wird, der Funke zeigt sich auch hier nur auf derjenigen Seite der Chartre, zu welcher der Draht von der positiven Seite ausgeht. PICTET¹ stellte diesen Versuch so an, daß er beide Seiten einer Spielchartre mit einem gleichschenkligen Dreieck aus Stanniol belegte, so daß die Grundlinien der Dreiecke an den gegenüberstehenden Rändern der Chartre liegen und ihre Spitzen auf den entgegengesetzten Seiten wenigstens einen Zoll von einander abstehen. Der Funke springt dann jedesmal von der Spitze des Dreiecks, das mit dem positiven Belege in Verbindung steht, sichtlich bis dahin wo die Spitze des negativen Dreiecks gegenüber steht, und durchbohrt daselbst die Chartre. Mit dieser Probechartre stellte PICTET auch noch folgenden Versuch an: Er isolirte eine Verstärkungsflasche, stellte ihren Knopf nahe an den negativen Conductor der Elektrisirmaschine, und hielt eine solche Chartre, deren eine Stanniolbelegung an ihrer Basis mit einem kleinen Knopfe versehen war, an der andern Seite so in den Fingern, daß der Knopf sich nahe an dem äußern Belege der Flasche befand. Bei jedem Funken der zwischen dem Conductor und dem Knopfe der Flasche erschien, zeigte sich auch ein Funken an der einen Seite der Chartre, und zwar stets an der Seite, an welcher die Belegung sich befand, die mit der Hand berührt wurde. Ein Beweis, meint PICTET, daß in diesem Falle aus dem allgemeinen Behälter, dem Erdboden, sich el. Materie in die äußere Belegung der Flasche ergoß, so oft ein Funken aus dem Knopfe der Flasche in den negativen Conductor übersprang. Das Entgegengesetzte fand statt, als die Flasche positiv geladen wurde. So sehr diese Versuche dem ersten Anscheine nach dafür zu sprechen scheinen, daß ein deutlicher el. Strom stets nur von der positiven Seite ausgehe und nach der negativen hin gerichtet sey, so hat doch TREMENT² durch eine sinnreiche Abänderung dieser Versuche zu zeigen

¹ G. XLIII. 218.

² Ebend. XXIII. 426.

gesucht, daß sich diese Erscheinungen auch mit der Annahme zweier el. Materien in Uebereinstimmung bringen lassen, wenn man nur annimmt, daß die atmosphärische Luft für beiderlei Arten von E. ein verschiedenes Leitungsvermögen (oder Isolirungsvermögen, in welchem Sinne die nachfolgenden Bestimmungen gerade auf eine umgekehrte Weise für jede der E. genommen werden müssen) besitze, und zwar für $+E$ ein ohne Vergleich größeres als für $-E$. Da unter dieser Voraussetzung $-E$ unendlich mehr Widerstand als $+E$ beim Verbreiten durch die atmosphärische Luft finden würde, so wäre es so gut, als fesselte die Oberfläche der Körper $-E$, und als hätten die negativ elektrisirten Körper selbst eine mächtige Anziehung zu $+E$, ungeachtet die Anziehung nur der in ihnen zurückgehaltenen $-E$ zukäme. Hierdurch würden sich zugleich die Verschiedenheiten der Lichtgestalten bei Spitzen und den Lichtenberg'schen Versuchen erklären lassen.

Um diese Annahme zu prüfen, wiederholte TREMERY den Versuch unter dem Recipienten der Luftpumpe, unter welchem die Luft bis zu einer gewissen Quecksilberhöhe von ungefähr 5 Zoll ausgepumpt war. Die Charte wurde in einem Punkte ^{Fig.} durchbohrt, der ungefähr in der Mitte zwischen den beiden _{59.} Spitzen lag, und zu beiden Seiten der Charte sah man Lichtstreifen. Er liefs dann allmählig die Luft wieder unter den Recipienten strömen, und wiederholte den Versuch in verschiedenen Dichtigkeiten. Für jede entstand ein Loch an einer andern Stelle, so daß sich im Stücke yx der Charte eine ganze Reihe von Durchbohrungen, die eine nicht weit von der andern, befand. Damit die Entladung nicht durch die früher gebildeten Löcher gehe, muß die Charte etwas in die Höhe gezogen werden. Manchmal entstehen bei einem Schläge mehrere Löcher zugleich; in diesem Falle sind aber alle Löcher so vertheilt, daß es unmöglich seyn würde, zu sagen, an welcher Seite der positive und an welcher der negative Draht gewesen sey. Wurde der Versuch in einer Luft von noch geringerer Dichtigkeit wiederholt, so lag der Punkt, wo der Schlag die Charte durchbohrt hatte, näher bei dem positiven Drahte b , als bei dem negativen c , und der größere Lichtstrom zeigte sich dann an der negativen Seite.

TREMERY schließt hieraus 1. daß das Leitungsvermögen oder das Isolirungsvermögen in einem umgekehrten Sinne) der

atmosphärischen Luft für positive und negative E. wesentlich verschieden ist; 2. daß unter dem gewöhnlichen Drucke der Atmosphäre das Leitungsvermögen für + E ohne Vergleich viel größer (oder das Isolirungsvermögen ohne Vergleich viel geringer) ist als für — E. 3. daß dieses Leitungs- oder Isolirungsvermögen jedesmal nach einem eigenen Gesetze sich mit der Dichtigkeit der Luft verändert, so daß für eine bestimmte Dichtigkeit der Luft beide einander gleich sind, 4. daß von diesem verschiedenen Leitungs- oder Isolirungsvermögen der Luft beim gewöhnlichen Drucke der Atmosphäre alle Zeichen herrühren, welche zu beweisen scheinen, daß die Glas-Elektricität wirklich positive d. h. Ueberschufs, die Harzelektricität wirklich negative d. h. Mangel an E. sey. Diese Erklärung möchte vielleicht noch weitere Bestätigung und Aufklärung durch Wiederholung des nämlichen Chartenversuches in Gasarten von sehr verschiedener chemischer Natur erhalten, da vorzusetzen ist, daß auch unter dem gewöhnlichen Luftdrucke das Isolirungsvermögen der chemisch sehr verschiedenen Gasarten sich für die beiderlei Elektricitäten sehr verschieden verhalten möchte¹.

b. Man hat den Versuch mit den Charten noch von einer andern Seite als einen Beweis für eine einseitige Richtung der E. in ihrer Bewegung bloß von der positiven Seite aus geltend zu machen gesucht. *GOUGH*² stellte den Versuch so an, daß die Spitzen der beiden Stannioldreiecke in der Mitte des Chartenblattes einander gerade gegenüber standen. Als er eine auf der innern Seite mit + E geladene Flasche durch sie entlud, hatte das Loch der Charte an beiden Seiten erhabene Ränder. Doch waren an der Seite nach dem positiven Belege zu die Ränder minder hoch, als nach der entgegengesetzten. Dasselbe fand statt, als er die Flasche mit — E lud, und sie durch die Charte entlud. Die Durchbohrung, bemerkt *GOUGH*, gleich in beiden Fällen völlig dem Loche, welches ein Pfriemen in einem dehnbaren Körper macht, denn er fand, daß wenn er eine auf weichem Holze liegende Charte, oder eine unter einer Oeffnung angenagelte Bleiplatte mit einer solchen Spitze durchstach, das Loch ebenfalls zwei erhabene Ränder hatte, und immer war der Rand an der vordern Seite, durch welche die Spitze hin-

¹ Vgl. *Funken, elektrischer*.

² G. XLIII, 220.

einging, minder erhaben und zerrissen, als der Rand an der hintern Seite. Diese vollkommene Aehnlichkeit sieht GOUGH als einen vollgültigen Beweis an, daß die el. Durchbohrung einem einzigen Strome, und zwar dem positiven zuzuschreiben sey. GILBERT macht hierzu die Bemerkung, daß dieses nur dann gelten könne, wenn der von dem hineingesteckten Pfiemen an der vordern Seite aufgeworfene Rand nicht durch das Herausziehen des Pfiemens, welches einige Kraft erfordert, veranlaßt wird. PICTET meint, die große Geschwindigkeit des el. Entladungstromes, die augenblickliche Retardation, welche er in der Materie der Charte erleide und die Trägheit derselben Materie scheine hinlänglich, um die Erscheinung aus dem schnellen Hindurchgange eines einzigen el. Stromes zu erklären.

Indessen kommen gerade bei diesem Versuche Erscheinungen vor, die eine solche Erklärung auf keine Weise zulassen. Nimmt man mehrere Karten, durch welche man einen Entladungsschlag gehen läßt, so findet man in der mittleren Charte ein ganz feines Loch, wie mit einer Nadelspitze gemacht, mit nur wenig nach beiden Seiten aufgeworfenem Rande, und von da aus nach beiden Seiten die Charten mit Löchern durchbohrt, aber zugleich mit Zerreißungen, die in dem Grade stärker sind, als die Charten mehr nach außen liegen, und die Ränder dieser Zerreißungen von beiden Seiten nach außen gerichtet. Nach PARROT¹ soll diese Erscheinung beweisen, daß bei der Vereinigung der beiden E. gleichsam in einem Punkte auf der mittlern Charte sich eine gewaltsame Elasticität entwickle, von welcher die beiderseits nach außen gerichteten Zerreißungen herrühren. Etwas ganz ähnliches zeigt sich auch beim Durchbruche des Entladungsschlages durch das Glas der Flasche, wo, wie schon oben bemerkt, in der Mitte ein feines Loch ist, das sich nach beiden Oberflächen des Glases hin mit sich ausbreitender Zerreibung des Glases trichterförmig erweitert. Indes läßt sich die Erscheinung eben so genügend durch eine Menge abwechselnder Ausgleichungen des + mit dem — von beiden Seiten her erklären, indem das + von dem einen Conductor her aus dem 0 der ersten Charte des — mit großer Gewalt und in verhältnißmäßiger Menge anzieht, wovon die Zer-

1 Entretiens sur la Physique V. 101.

reißung der äußersten Charte abhängt, die nach dem \dagger hingehichtet seyn muß, das freigewordene — das \dagger aus dem 0 der zweiten Charte und so fort, und eben so von der andern Seite her auch das — das \dagger des 0 von der äußersten Charte, das freigewordene — des 0 dieser Charte, das \dagger des 0 der zweiten Charte u. s. f., wo allerdings die Zerreißen abnehmend seyn müssen, weil jedes in der Reihe folgende \pm an Quantität weniger beträgt, als das \mp , durch welches dasselbe erregt und angezogen worden, weil es sonst aus seinem 0 nicht hätte freigemacht werden können. Auf keinen Fall lassen sich diese Erscheinungen mit einem einseitigen Strome von dem positiven Conductor aus in Uebereinstimmung bringen.

Noch ein anderer Versuch über die Durchbohrung von Charten oder Papierblättern, welchen TREMERY¹ angestellt hat, findet seine genügende Erklärung in der Annahme zweier el. Ströme, und ist dagegen mit derjenigen eines einseitigen el. Stromes nicht verträglich. Wenn man eine starke el. Entladung durch mehrere auf einander liegende Blätter Papier hindurch gehen läßt, so liegen die Mittelpuncte aller einzelnen Löcher meistens in einer geraden Linie. Wenn man dagegen, während die übrigen Umstände die ganz gleichen bleiben, einen Streifen Stanniol in die Mitte zwischen die Papierblätter legt, so findet man nach der Entladung zwar ebenfalls alle einzelnen Blätter des Papiers durchlöchert, jedoch mit dem Unterschiede, daß die geraden Linien, die durch die Mittelpuncte der Löcher derjenigen Blätter geht, welche oberhalb des Stanniolstreifens liegen, nicht mehr die Verlängerung der geraden Linie ist, die durch die Mittelpuncte aller Löcher der untern Blätter geführt wird; beide machen vielmehr einen Winkel mit der geraden Linie zwischen der Durchbohrung in dem obersten und in dem untersten Blatte. Aus dieser relativen Neigung des obern und untern Schlußcanals folgt, daß der Stanniolstreifen

Fig.
60.

in zwei verschiedenen Puncten durchbohrt wird. Es sey KK das Heft Papier und a b der Stanniolstreifen. Durch c als die Mitte von a b ziehe man p q senkrecht auf a b, v und r sind zwei von der senkrechten p q gleich entfernte Puncte, in welchen sich die Kugeln eines allgemeinen Ausladers befinden mögen, der mit einer Batterie verbunden sey. Die eine z. B. v

1 G. XXXII. 31.

lade sich mit $+E$, indem sie mit der innern Belegung einer Batterie in Verbindung stehe, die positiv geladen werde; die andere Kugel r werde eben so mit $-E$ erfüllt, indem sie mit der äußern negativen Belegung zusammen hängt. So wie nun die $+E$ und $-E$ im Momente der Entladung sich in die Kugeln v und r ergießen, streben sie, einen Theil der natürlichen E . im Streifen ab zu zersetzen. Da sich aber die Theilchen jeder einzelnen entwischten Flüssigkeit wechselseitig abstossen, während sie die Theilchen der andern anziehen, so ist leicht einzusehen, daß die Hälfte ac des Streifens mit negativer und die Hälfte bc mit positiver E . geladen werden muß. Es sey ferner o der Mittelpunkt der Kraft für ac und o' für bc . Die positive E . der Kugel v wird durch zwei Kräfte sollicitirt, deren Richtungen durch die Linien vr und vo ausgedrückt sind, denn nicht bloß die negative E . der Kugel r sondern auch der mit diesem Fluidum gleichfalls erfüllte Theil ac des Stanniolstreifens ziehen dieselbe an. Eben so findet für die negative E . der Kugel r eine Anziehung nach der Richtung rv und eine zweite nach ro' statt. Streng genommen wird aber eigentlich jede der beiden E . in v und in r von drei Kräften sollicitirt, denn in der That wirkt die positive E . der Ladung des Theils bc auch noch zurückstossend auf die positive E . von v , so wie die negative E . des Theiles ac das gleichnamige Fluidum in r abstossen muß.

Es folgt hieraus, daß man sich füglich die positive E . der Kugel v als von zwei Kräften zugleich sollicitirt denken kann, deren Richtung und Intensität durch die Linien vr und vn ausgedrückt werden, indem vn nur einen sehr geringen Winkel mit der Linie vo macht. Eben so verhält sich die Sache in Beziehung auf die negative E . in r . Wenn man nun zu vr und vn als Seitenkräften des Parallelogramm $vrnm$ construirt und eben so auf der andern Seite das Parallelogramm $rvm'n'$, so zeigt sich, daß die positive E . von v aus sich nach der Diagonale vm , und die negative E . von r aus nach der Diagonale rm' bewegen werden. Wenn die erste den Weg vz und die andere den Weg rz' durchlaufen haben, gleichen sie sich in dem Metallstreifen aus. Es folgt also, daß die über dem Stanniolstreifen ab liegenden Blätter das Papier so durchbohren werden, daß die gerade Linie vz durch die Mittelpuncte aller Löcher geht und die Linie rz' auf ihrer Seite durch die

Achse des Canals, den die E. durch die unter a b liegenden Blätter durchbohrt. Da nun rz' nicht in der Verlängerung von vz liegt, so muß nothwendig der Stanniolstreifen in zwei Puncten z und z' durchbohrt werden. Die Entfernung zwischen z und z' wird größer oder geringer seyn, je nachdem man v und r weiter von der senkrechten pq ab oder ihr näher nimmt. Wenn v und r in der Linie pq selbst liegen, so müssen die Mittelpuncte beider Löcher in einem einzigen Puncte c zusammenfließen, womit auch der angestellte Versuch übereinstimmt, indem die beiden Löcher zwei Kreise bildeten, deren Peripherien sich durchschnitten. Wie dieser Erfolg mit der Theorie eines einseitigen Stromes in Uebereinstimmung zu bringen sey, ist nicht abzusehen.

c. Man hat sich ferner auf die Bewegung einer Flamme berufen, durch welche der Entladungsschlag geht. Stellt man nämlich eine Wachskerze in den hohlen Cylinder des Gestells des allgemeinen Ausladers zwischen die beiden Knöpfe der beiden Zuleitungsdrähte, die etwa zwei Zolle von einander abstehen, so wird man bei der Entladung die Flamme stets nach demjenigen Knopfe getrieben sehen, welcher mit der negativen Seite der Flasche in Berührung steht, zum Beweise, daß der el. Strom nach dieser Seite hin seine Richtung hat. CAVALLO bemerkt aber schon, daß bei diesem Versuche die Flasche ungewein schwach geladen seyn müsse, gerade nur so viel, daß sie eben im Stande ist, den Schlag durch den in der Verbindung leer gelassenen Zwischenraum zu treiben. Ist nämlich die Ladung zu stark, so geht die el. Materie wegen ihrer el. Kraft allzu schnell durch die Lichtflamme, als daß sie derselben eine merkliche Bewegung mittheilen könnte. Indefs haben spätere Versuche bewiesen, daß gerade der umgekehrte Effect statt findet, wenn man statt der Flamme der Wachskerze die Flamme des Phosphors zwischen die zwei Kugeln des Ausladers bringt, und daß hierbei alles von der eigenthümlichen, positiv oder negativ el. Natur der Flamme abhängt, wodurch dieser Versuch vielmehr für die Theorie zweier Materien spricht¹.

d. Einen andern Versuch stellt man mit einer Korkkugel an, welche man in ein zu einer Rinne umgebogenes recht trockenes Chartenblatt, oder in eine Rinne von wohl ausgedörtem

1. Vergl. den Artikel: *Elektricität*.

überfirnfisten Holze auf das Tischchen des allgemeinen Ausladers zwischen die beiden Knöpfe bringt, wovon jeder etwa $\frac{3}{4}$ Zoll von der Korkkugel absteht, und dann eine Entladung hindurch führt. Die Korkkugel wird in diesem Falle gegen den Knopf, der mit dem negativen Belege verbunden ist, getrieben werden. Auch bei diesem Versuche muß die Ladung der Flasche eben nur hinreichend seyn, den Schlag durch den in der Verbindung liegenden Zwischenraum zu treiben, und überhaupt erfordert derselbe eine große Genauigkeit und Geschicklichkeit zum Gelingen. Da indess bei diesem Versuche ein Zwischenraum von Luft ist, so erklärt er sich leicht auf dieselbe Weise, wie der Versuch über die Durchbohrung des Chartenblatts. In sehr verdünnter Luft würde ohne Zweifel gerade das Gegentheil eintreten, und die Korkkugel von der — nach der + Seite getrieben werden.

e. Man hat sich auch auf gewisse Lichterscheinungen berufen, namentlich eines Sterns oder Strahlenkegels an einem in eine luftleer gemachte Flasche hinein ragenden Drahte, um die einseitige Richtung der E. bei der Ladung und Entladung zu beweisen, indess hat man dabei ganz willkürlich den Stern als ein Zeichen einströmender E. angesehen.

Aus allem bisherigen sieht man demnach deutlich, daß die Erscheinungen bei der Entladung und die davon abhängigen Wirkungen, weit entfernt für die Hypothese einer einzigen el. Materie dadurch neue Beweise zu liefern, daß diese Wirkungen und Erscheinungen auf eine einseitige Richtung eines einfachen el. Stromes hindeuten, und zwar eines solchen, der von der positiven nach der negativen gerichtet ist, vielmehr einen entgegengesetzten Charakter haben, und zwei el. Ströme oder Erregungen, die von beiden Seiten gleichmäÙig ausgehen, verathen. Uebrigens verweise ich am Ende nochmals auf die Artikel: *Schlag, elektrischer*, wo eine nähere Betrachtung der merkwürdigsten Wirkungen des Entladungsschlages neue Beweise für die dualistische Ansicht liefern wird¹. P.

1 Priestley's Geschichte der Elektrizität durch Krünitz. Berlin u. Stettin 1772. an mehrern Orten. Beckmann's Beiträge zur Geschichte der Erfindungen 1ster Th. 4tes St. S. 571. History of the Royal Society by Thomas Thomson. London 1812. Chap. VIII. on Electricity p. 429. Die übrige Literatur findet sich im Artikel selbst.

Flaschenzug.

Polyspastus, polypaston; Polyspaste, moufle; Polypaston, tackle.

Der Flaschenzug ist eine seit den ältesten Zeiten bekannte¹ und bis auf die neuesten herab allgemein angewandte mechanische Potenz, welche bestimmt ist um größere Lasten mit einer geringeren Kraft zu heben. Schon VITRUV² redet von diesem Werkzeuge als einem bekannten, und LEUPOLD³ beschreibt die wesentlichsten derselben, aus welchem Werke die meisten späteren Schriftsteller ihre Angaben entnommen haben. Eigentlich gehört derselbe in die Mechanik; weil aber fast alle Lehrbücher der Physik die Beschreibung des Flaschenzuges bisher aufgenommen haben, so möge auch hier das Wichtigste über diesen Gegenstand kurz mitgetheilt werden.

Es lassen sich zweierlei Arten von Flaschenzügen unterscheiden, die gemeinen und die Potenzflaschenzüge, beide aber gehen von der *Rolle* als ihrem Elemente aus, deren eine beliebige Anzahl, auf allen Fall mehr als eine, wenn eine mechanische Potenz hervorgehen soll, in die aus hölzernen oder metallenen Scheiben bestehenden Flaschen vereinigt werden. Die gewöhnliche Construction der gemeinen Flaschenzüge ist so, daß 2 oder 3 bis höchstens 4 Rollen in jeder Flasche in derselben Ebene über einander verbunden sind, und die Durchschnitte der sämtlichen Seile und der Rollen, letztere perpendicular auf ihre Axen, in eine gemeinschaftliche Ebene fallen. Um hierbei den parallelen Seilen neben einander Raum zu verschaffen, sind die einander näher liegenden Rollen der beiden Flaschen kleiner, die entfernteren größer. Wenn die Flaschenzüge zum praktischen Gebrauche etwas größer und für dickere Seile geeignet gemacht werden, so darf die Vergrößerung der Rollen nicht ganz unbedeutend seyn, und dennoch werden die beiden, sich zunächst liegenden, nicht bedeutend groß werden, wenn die Zahl der Rollen in jeder Flasche drei oder

1. Als Erfinder desselben wird ARCHIMEDES genannt. S. Nachricht von dem Leben und den Erfindungen der berühmtesten Mathematiker. München 1788. I. 22.

2. De Archit. Lib. X. c. 3 f. p. 231. ed. Rode.

3. Theatrum mach. gen. Cap. III, Tab. XXXV. und XXXVI.

vier beträgt, und wenn gleich der mechanische Effect der Flaschenzüge mit der Zahl der Rollen zunimmt, so beträgt dieselbe bei den gewöhnlichen namentlich im Bauwesen häufig gebrauchten Flaschenzügen dieser Art meistens nur zwei in jeder Flasche, und die erforderliche Kraft wird verstärkt, indem man an das Ziehseil des Flaschenzuges ein oder mehrere Pferde spannt, oder dasselbe vermittelt eines Cabestan's aufwindet. Es kommt noch hinzu, daß ein Flaschenzug jederzeit ein so viel längeres Seil erfordert, je größer die Anzahl der Rollen ist, wodurch er kostbarer wird und bei gleicher Geschwindigkeit des Zuges am Seile die Lasten langsamer hebt, abgerechnet, daß die Säule durch den Einfluß der atmosphärischen Feuchtigkeit aufgedrehet werden, und sich am unbelastet hängenden Flaschenzuge nicht selten so in einander wirren, daß sie nur mit vieler Mühe aus einander gebracht werden können, insbesondere wenn sie zahlreich und die nächsten Rollen klein von Durchmesser sind. Endlich ist bei einer größeren Zahl von Rollen die Länge beider Flaschen zusammen genommen und die beträchtlichere Höhe, wo diesernach die obere Flasche befestigt werden muß, nicht ganz unbedeutend. Die Zeichnung stellt den in der Mitte liegenden Flaschenzug mit drei Rollen in jeder Flasche dar, wonach man sich den mit zwei und den mit vier Rollen in jeder Flasche leicht vorstellen kann. Dieser letztere wird nicht häufig gebraucht, und der mit einer Rolle in jeder Flasche kommt überall kaum in Anwendung. Ferner findet sich der Regel angemessen das Seil anfänglich an der oberen Flasche befestigt; wird dasselbe dieser Regel zuwider an die untere Flasche gebunden, so erhält die obere eine Rolle mehr als diese letztere, die Last aber wird allezeit durch so viele Seile getragen, als die Anzahl der Rollen in beiden Flaschen beträgt.

Die angegebene Unbequemlichkeit der eben beschriebenen Flaschenzüge, nämlich daß die Rollen beträchtlich ungleich an Größe seyn müssen, wenn man deren drei oder vier in jeder Flasche anbringen will und die Seile sich nicht an einander reiben sollen, führte auf den Vorschlag, sie sämtlich von gleicher Größe zu machen, und in horizontaler Lage neben einander zu legen. Diese übrigens sinnreiche Einrichtung hat ^{Fig.} zwei Mängel, zuerst nämlich wirkt der Zug am Seile zunächst _{62.} direct auf die eine Rolle an der einen Seite jeder Flasche, und

bis derselbe sich durch alle Seile fortpflanzt, kommen die Flaschen in eine schiefe Richtung, welches die Wirksamkeit des Apparates hindert, und zweitens sind alle Rollen auf einer einzigen Axe befestigt, welche daher entweder sehr stark seyn muß oder sich in der Mitte leicht biegt. Dem letzteren Mangel wird leicht abgeholfen, wenn man die beiden Backen der Flaschen oben und unten mit einem hinlänglich starken Querstücke verbindet, und jede Rolle von der andern durch ein hiergegen gestütztes Blech von der erforderlichen Dicke trennt; der erstere aber verhindert, daß man nicht füglich mehr als zwei bis höchstens drei Rollen in einer Flasche anbringen kann, insbesondere wenn sie wegen der starken Taue bei großen Lasten, wie z. B. auf Schiffen, nicht schmal seyn dürfen. Ungleich vorzüglicher sind daher zwei andere von dem bekannten J. SMEATON¹ angegebene Einrichtungen, worin er die beiden so eben erwähnten Arten zu vereinigen suchte. Die eine gestattet die Zahl der Rollen beliebig zu vervielfältigen, und hat den Vortheil, daß beide Enden des Seiles in die Mitte der Flaschen treffen, wenn die Zahl der neben einander liegenden Rollen eine ungerade ist, wie sich dieses gehört. In jeder der

Fig. 63. beiden Flaschen befinden sich dann zwei Reihen von Rollen, von denen die einander zunächst stehenden kleiner sind, als die von einander entfernteren. Indem übrigens die Zeichnung die Sache vollkommen deutlich macht, so würde jede weitere Beschreibung überflüssig seyn, und verdient bloß noch bemerkt zu werden, daß die eingeschriebenen Zahlen diejenigen Rollen bezeichnen, über welche in der angegebenen Reihenfolge das Seil gezogen wird, indem es bei der Rolle unter 1 anfängt und am Haken 21 endigt. Die zweite Einrichtung dieser Art von Flaschenzügen unterscheidet sich nur durch die Abänderung, daß die Axen der beiden Reihen von Rollen in jeder Flasche sich in zwei rechten Winkeln schneiden. Es ist dann nicht erforderlich, daß die Rollen von ungleicher Größe sind, jedoch werden die einander zunächst gegenüberstehenden meistens etwas kleiner gemacht. Eine Vorstellung von dieser Einrichtung erhält man leicht, wenn man sich denkt, daß in der Figur die beiden Backen, welche die einander zunächst liegenden kleineren Rollen einschließen, rechts um einen Quadranten

¹ Ph. Tr. XLVII. 494.

herumgedrehet werden, indem dann das Seil in der angezeigten Ordnung so durchgezogen wird, wie die Reihenfolge der Zahlen angiebt, jedoch so, daß es über die Rolle bei 6 hineinsteckt und durchgezogen über die andere Rolle so geschlungen werden muß, daß es bei der Zahl 7 wieder herauskommt u. s. w.

Eine individuelle Species dieser Art verdient noch eine besondere Erwähnung, weil sie sehr gut im kleinen Umfange ausgeführt werden kann, und dann Eleganz mit Wirksamkeit und Bequemlichkeit verbindet, zugleich aber zur Demonstration vorzüglich brauchbar und namentlich für Chirurgen zum Einrichten verrenkter Glieder mit Nutzen anwendbar ist. So wie ich diesen Flaschenzug aus einem in England verfertigten und ausnehmend schön von Silber und Stahl gearbeiteten Exemplare bei einem französischen Arzte kennen lernte, und seitdem wiederholt aus Stahl und Messing nachbilden ließ, besteht derselbe aus ^{Fig.} zwei Flaschen, nur etwa 3 Z. lang, die untere mit 4 Rollen, ^{64.} je zwei mit rechtwinklich über einander liegenden Axen, die beiden nach oben gekehrten Rollen 1 Z. die beiden untern 1,25 Z. im Durchmesser haltend; die obere Flasche dagegen hat 5 Rollen, deren Größe den eben angegebenen correspondirt, so daß die beiden unteren die kleineren, die drei oberen die größeren sind. Einige Schwierigkeiten hat das Einziehen des Seiles, wenn man den Apparat nicht genauer kennt; es geschieht, indem man das Ende des Seiles über der oberen Rolle bei 1 einsteckt, dann unter der oberen Rolle der unteren Flasche wieder herauskommen läßt und auf gleiche Weise nach der Reihenfolge der Zahlen fortfährt, wonach das letzte Ende bei 9 wieder herauskommt, und mit dem bei 1 hervorstehenden anderen Ende durch einen Knoten vereinigt wird. Hiernach ist das Seil an keiner der Flaschen ursprünglich festgeknüpft, und der Flaschenzug gewährt die Eigenthümlichkeit, daß die bewegendende Kraft an jedes der beiden Seil-Enden bei 1 oder bei 9 angebracht werden kann, oder an beide zusammen, und da hiernach entweder ein oder zwei der acht Seile in Bewegung gesetzt werden, woran die Last hängt, so ist im ersten Falle $\frac{1}{2}$, im zweiten $\frac{1}{4}$ als bewegendende Kraft erforderlich, um das Gleichgewicht herzustellen, wie die Erfahrung mit der Theorie vollkommen übereinstimmend zeigt. Bei so kleinen, vorzüglich gut gearbeiteten, Exemplaren beträgt die Dicke der Backen bei den Flaschen etwa

1 Lin., der Rolle nahe 1,25 Lin., und wenn dann zum Seile eine gute seidene Schnur gewählt wird, und die stählernen Haken hinlänglich stark sind, so kann eine Last von nahe 200 \mathcal{E} oder 400 \mathcal{E} mit diesem kleinen Flaschenzuge gehoben werden, vorausgesetzt, daß das einfache Seil 50 \mathcal{E} trägt, und man im ersten Falle an beiden, in letzterem an einem Seile zieht, die Reibung vorläufig nicht gerechnet.

Der Flaschenzug, auf dessen Erfindung sich J. WHITE ein Patent gehen liefs, war zunächst darauf berechnet, die Reibung zu vermindern, welche die einzelnen Rollen an den berührenden Blechen der Kloben erleiden, wenn deren mehrere parallel neben einander liegen. Er substituirte daher statt einer beliebigen Anzahl solcher einzeln beweglichen Rollen einen Kegel mit eingeschnittenen Rinnen, befestigte diesen statt der Flasche in einen Bügel, und zwei der letztern von gleicher Beschaffenheit ersetzten dann den vollständigen Flaschenzug. Aus der Zeichnung ist ersichtlich, daß das erste Ende des Seiles an dem einen Ende des obern Bügels befestigt wird, dann um die schmalste Rinne des unteren Kegels läuft, und von hier abwechselnd um die größeren des oberen und unteren Kegels, bis das letzte Ende desselben die äußerste dickste Seite des Kegels umschlingt. Um die hierbei zum Grunde liegende Theorie zu verstehen, darf man sich nur vorstellen, daß jede einzelne Rinne der Kegel eine für sich bewegliche Rolle von abnehmenden Durchmesser bilde. Würde dann das letzte Ende des Seiles mit der erforderlichen Kraft herabgezogen, so werden alle Seile zwischen der gesammten Zahl der Rollen verkürzt, alle Verkürzungen der gesammten Seile laufen aber über die letzte Rolle, über die nächstfolgende läuft eine weniger, über die dann zunächstfolgende wieder eine weniger und so fort, bis ans entgegengesetzte Ende der kegelförmig aneinander gereiheten Rollen. Wenn nun die Peripherien, und somit auch die Durchmesser der einzelnen Rollen im gleichen Verhältnisse abnehmen, als die über sie laufenden Seillängen, so wird die Zahl ihrer Umläufe gleich seyn, und man darf sie also an einander fest machen, oder statt ihrer einen Kegel mit Rinnen substituiren. Man darf also nur den Kegel von beliebiger Höhe in so viel gleich hohe Theile abtheilen, als er einzelne Rollen ersetzen soll, ihn bei jeder Abtheilung cylindrisch abdrehen, und in alle diese cylindrische Theile Vertiefungen von

Fig.
65.

gleicher Tiefe einschneiden, zwei solche ganz gleiche Systeme von wachsenden Cylindern mit ihren Axen in den Bügeln befestigen, und das Seil auf die angegebene Weise über die entstandenen Vertiefungen schlingen, so ist der Flaschenzug hergestellt. Obgleich diese Idee im Ganzen sinnreich ist, und die hinzukommende, als gleichmässig vorausgesetzte, Dicke des Seiles das Princip nicht abändert, so erfordert dieser Flaschenzug doch eine genaue Fabrication, ein ganz gleichmäßiges Ausschleifen der Rinnen, und weil außerdem die bewegende Kraft auf die eine Seite desselben wirkt, er daher leicht schief gezogen wird, die Seile sich außerdem da, wo die Durchmesser der Vertiefungen kleiner sind, leicht verwirren, und endlich durch einen schiefen Zug und eine momentane Lockerheit wohl gar in eine nächstniedrigere Vertiefung herabgleiten können: so ist er nicht sehr in Gebrauch gekommen. Noch weniger ist dieses der Fall bei einer Verbesserung, welche SHULDHAM ¹ in Vorschlag brachte. Dieser befestigte nämlich in jedem Bügel zwei mit ihrer Basis verbundene Kegel, welche nach beiden Seiten auf gleiche Weise abnehmende Vertiefungen hatten, befestigte die beiden Enden des Seiles an den beiden unteren Theilen des oberen Bügels, führte dasselbe dann über die gleichmäßig zunehmenden Vertiefungen der Kegel zuerst im unteren und dann im oberen Bügel, so daß die vereinte Mitte zusammen in zwei Strängen über die beiden Vertiefungen an der gemeinschaftlichen Basis beider oberen Kegel herabgezogen wurde. Daß hierdurch die mechanische Wirkung des Flaschenzuges nicht vermehrt wird, obgleich er ein Seil von doppelter Länge erfordert, ist aus dem oben gesagten klar, weil an zwei Seilenden zugleich gezogen wird, jedoch erfordert das Seil zum Tragen einer gleichen Last nur die Hälfte der Stärke, und zugleich wird das Schiefziehen vermieden. Uebrigens theilt er die von jenem angegebenen Mängel.

Um die Reibung aufzuheben, that GARNETT ² den Vorschlag, und ließ sich ein Patent darüber geben, die Spindeln der Rollen nicht in Löchern laufen zu lassen, sondern in einem Kreise von Frictions-Rollen, welche er in die doppelt gemach-

¹ Transact of the Soc. for the Encouragement of Arts Manufact. etc. XXIV. 189.

² T. Cavallo ausführliches Handbuch der Experimental-Naturlehre. A. d. F. von Trommsdorf. Erf. 1804. 8. I. 272.

ten Backenstücke der Flaschen einsenkte. Dafs die Flaschenzüge schon deswegen eine verhältnismäfsig nicht geringe Reibung haben, weil die Durchmesser der Rollenaxen der nöthigen Stärke wegen nicht eben klein seyn dürfen, ist allerdings richtig, und eben so wenig wird jemand in Abrede stellen, dafs Frictions-Rollen ein sehr geeignetes Mittel sind, dem aus der Reibung entstehenden Hindernisse der Bewegung im Allgemeinen abzuhelfen, allein bei einem Flaschenzuge werden sie entweder zu klein seyn müssen, oder das ganze Werkzeug wird sehr zusammengesetzt und zu unförmlich dick ausfallen. Ich trete daher unbedingt der Meinung derjenigen Schriftsteller bei, welche die Anwendbarkeit der Frictions-Rollen bei Flaschenzügen für unzulässig halten.

Die zweite Art von Flaschenzügen sind die Potenz-Flaschenzüge, deren Benennung aus der später zu erörternden Art ihres mechanischen Effectes entnommen ist. Als wesentlicher Unterschied beider Arten von Flaschenzügen ist anzusehen, dafs bei der gemeinen die obere Flasche unbeweglich, die untere dagegen beweglich ist, und dafs das Seil an einer der Flaschen oder blofs durch Umschlingen um die Rollen festsetzt; bei den Potenzflaschenzügen dagegen nur eine, in der Regel die letzte Rolle unbeweglich ist, während meistens die sämtlichen einzelnen Seile mit ihrem einen Ende an einen unbeweglichen Körper festgeknüpft werden. Einen Uebergang zwischen beiden Arten bildet die doppelte Rolle, deren Construction und Wirkungsweise aus der Figur ersichtlich ist, und welche in geeigneten Fällen leicht und mit Vortheil in Anwendung gebracht werden kann. Eben so leicht wird die Beschaffenheit der Potenzflaschenzüge aus der blofsen Zeichnung erkannt. Es laufen hier die einzelnen Seile, in einer gemeinschaftlichen verticalen Ebene liegend, mit einander parallel herab, und jedes ist an einem besonderen Halter mit dem einen Ende befestigt, während der andere durch den Bügel der nächsten Rolle getragen wird. Dafs dieses nicht alles durchaus nothwendig sey, ergibt sich von selbst; indem namentlich auf Schiffen, wo diese Art Flaschenzüge zum Heben großer Lasten auf eine geringe Höhe am meisten gebraucht werden, oft die Möglichkeit nicht vorhanden ist, jedes einzelne Seil auf die angegebene Weise zu befestigen. Nicht selten werden sie dann sämtlich in einem gemeinschaftlichen Punkte vereinigt festgemacht, so dafs selbst

Fig.
66.

Fig.
67.

die letzte Rolle, über welche das Endseil geht, ebendasselbst befestigt ist. Wie ein solcher dann aussehe, kann man sich auch ohne Zeichnung leicht vorstellen.

Als eine Art umgekehrten Potenzflaschenzuges ist derjenige anzusehen, bei welchem die letzte Rolle, über welche das Ende des ersten Seiles herabgeht, beweglich, das andere Ende des Seiles aber festgemacht ist. Nach dieser letzten Einrichtung gehört er unter die Classe der Potenzflaschenzüge, insofern aber, als die obere Rolle fest, die untere mit der zu hebenden Last dagegen beweglich ist, gehört er zu den gemeinen Flaschenzügen, mit denen er auch rücksichtlich seiner Wirkung übereinkommt. Indem er aber die Lasten nur zur Hälfte der Höhe hebt, als bei den letztern der Fall ist, so kann er wegen dieser beschränkteren Brauchbarkeit nicht empfohlen werden. Eben diesem Fehler unterliegt die folgende Abänderung, welche rücksichtlich der Festigkeit der oberen Rolle, der Beweglichkeit der unteren und in so fern die Seile mit keinem Ende aufser an den Flaschen der Rollen selbst befestigt sind, mehr den gemeinen beizuzählen ist, zugleich aber einen größern Effect hat, als die letzteren. Wegen des gerügten Fehlers der geringeren Höhe, wozu die Lasten vermittelst desselben gehoben werden können, verdient auch dieser keinen Beifall. Dem eigentlichen Potenzflaschenzuge wesentlich zugehörend und an mechanischem Effecte ihn noch übertreffend ist der weniger bekannte, bei welchem die Last an den vereinten Enden aller Seile befestigt und bloß die Flasche der oberen Rolle unbeweglich gemacht wird. Da er nach der Zahl der Rollen die größte Last hebt, so verdient er vorzügliche Empfehlung, und selbst darin liegt kein wesentliches Hinderniß seiner Anwendbarkeit, daß die vereinten Seilenden sich leicht zusammendrehen werden, denn da sie gemeinschaftlich in die Höhe steigen, so bringt dieses dem mechanischen Effecte keinen Nachtheil, und die einzige daraus erwachsende Unannehmlichkeit ist nur diese, daß die aufgewundenen Lasten sich gern um eine verticale Axe zu drehen pflegen, welches aber ohne bedeutende Schwierigkeiten leicht verhindert werden kann.

Die *Theorie* der Flaschenzüge oder die Bestimmung ihres Effectes bei gegebener Kraft ist sowohl bei den gemeinen als den Potenzflaschenzügen sehr einfach und unter den Mechanikern durchaus nicht streitig. Wenn man von der Steifheit der

Fig.
68.Fig.
69.Fig.
70.

Seile und der Reibung abstrahirt, wie bei den mechanischen Untersuchungen vorläufig bei der Bestimmung der allgemeinen Gesetze allezeit geschieht, so ist bei den gemeinen Flaschenzügen die Last unter die gesammten Seile gleichmäfsig vertheilt. Die auf das Ende des Seiles wirkende Kraft spannt nur eines der gesammten Seile, woran die Last hängt, und beträgt also nur denjenigen aliquoten Theil der letzteren, welcher auf dieses eine Seil kommt. Heifst also die mit Inbegriff der untern Flasche zu hebende Last P , die sie hebende Kraft K , die Zahl der Seile n , so wird das statische Moment zwischen Last und Kraft hergestellt, oder beide werden im Gleichgewichte seyn, wenn $K = \frac{P}{n}$ ist, d. h. man findet die Kraft, welche

erforderlich ist, eine an dem Flaschenzuge hängende Last im Zustande der Ruhe zu erhalten, wenn man an das Ende des Seiles ein Gewicht hängt, welches der Last dividirt durch die Anzahl der Seile gleich ist. Die hiernach einem jeder der gezeichneten Flaschenzüge zugehörigen, ein Gleichgewicht erzeugenden Lasten sind der bequemen Uebersicht wegen in den Zeichnungen mit angegeben. Sucht man aber diejenige Kraft, welche erforderlich ist, eine gegebene Last wirklich in die Höhe zu heben, ohne dabei die Geschwindigkeit zu berücksichtigen, womit dieses geschehen soll, so muß der Kraft noch ein solcher aliquoter Theil hinzugefügt werden, als erfordert wird, um die Reibung und Steifheit der Seile zu überwinden, welche Größen sich aber nicht im Allgemeinen angeben lassen.¹ Die Summe dieser beiden Hindernisse der Bewegung sey $= pK$, so ist allgemein die eine Bewegung hervorbringende Kraft $K' = K(1 + p)$.

Nicht schwieriger ist es, die Theorie des Potenzflaschenzuges aufzufinden. Schon der bloße Augenschein nämlich zeigt, daß die mit der zu hebenden Last verbundene unterste Rolle an beiden Theilen des sie umschlingenden Seiles hängt, und auf beide gleichmäfsig vertheilt ist. Die nächstfolgende Rolle, woran das eine Ende des Seiles geknüpft ist, zieht also nur dieses in die Höhe, während das andere Ende als unbeweglich fest betrachtet wird, mithin erfordert sie für den Zustand des Gleichgewichtes nur die Hälfte derjenigen Last, welche die erste Rolle herabzieht, als Kraft, und da dieses für alle folgenden

1 S. *Reibung und Steifheit der Seile.*

Rollen auf gleiche Weise gilt, mit Ausnahme der letzten, über welche das Seil zum Herabziehen geschlungen ist, so wird, wenn die Menge der beweglichen Rollen $= n$ heist, im übrigen

aber die vorigen Bezeichnungen beibehalten werden, $K = P \left(\frac{1}{2} \right)^n$

seyn. Dafs auch hierbei, wie bei den sogleich zu betrachtenden, besonders construirten Flaschenzügen, blofs vom Zustande des Gleichgewichts die Rede sey, zur Erzeugung einer Bewegung aber die oben angegebenen Hindernisse gleichfalls überwunden werden müssen, bedarf nur im Allgemeinen einer Erwähnung.

Von den drei zuletzt beschriebenen Flaschenzügen kann das Verhältnifs zwischen der Last und Kraft bei dem ersten leicht gefunden werden. Die Rolle mit der Last nämlich hängt vorläufig angenommen an den beiden Enden des unter ihn hingeführten Seiles, und es wird daher an dem über die letzte Rolle geschlungenen Seile nur die Hälfte des Gewichts erforderlich seyn, um das Gleichgewicht herzustellen. Weil aber die

gesamte Kraft, womit diese Rolle herabgezogen wird, auf das eine Ende eines zweiten, um die obere Rolle geschlungenen und gleichfalls an der Last befestigten Seiles wirkt, so ist der Effect der herabziehenden Kraft hiernach abermals ein doppelter, so dafs im Ganzen die Kraft nur ein Viertel der Last seyn muß. Der zweite, etwas abgeänderte, Flaschenzug läßt sich auf folgende Weise erklären. Die untere mit der Last beschwerte Rolle werde vorläufig durch das an ihr befestigte, über die oberste Rolle geschlungene Seil allein getragen, so muß die am andern Ende befindliche Rolle die Last durch ein der Last gleiches Gewicht im Zustande der Ruhe erhalten werden. Die Last hängt aber zugleich auch an den beiden um die untere Rolle geschlungenen Seilenden, von denen das eine über die dritte Rolle gezogen ist. Wird also das eine herabgehende Ende dieses Seiles durch eine gegebene Kraft herabgezogen, so wird die Wirkung derselben verdoppelt, indem sie nur das eine der beiden Seile verkürzt, woran die Last hängt. Insofern aber durch diese Kraft die dritte Rolle durch beide Seilenden herabgezogen wird, wirkt dieselbe doppelt, und die hierdurch gegebene Wirkung wird abermals verdoppelt dadurch, dafs die Last selbst diese dritte Rolle herabzieht, während die ursprüngliche Kraft zugleich einfach auf das über die obere Rolle geschlungene Seil

Fig. 68.

Fig. 69.

wirkt. Im Ganzen verhält sich also die Last zur Kraft wie $2 \times 2 + 1 : 1 = 5 : 1$. Am wirksamsten unter allen Flaschenzügen ist der letzte, ein eigentlicher Potenzflaschenzug, bei welchem die Zahl der Rollen noch obendrein willkürlich vermehrt werden kann. Um seine Wirkungsweise zu versinnlichen denke man sich die oberste Rolle als unbeweglich und bloß zur Aenderung derjenigen Richtung bestimmt, in welcher die bewegende Kraft ihre Wirkung äußert, wie dieses bei der einfachen Rolle der Fall ist. Die auf die unterste bewegliche Rolle wirkende Kraft äußert sich auf beide Seilenden derselben, und ist also in Beziehung auf den Effect, womit diese Rolle das sie tragende Seil herabzieht, doppelt, wozu noch die einfache Wirkung auf das an die Last geknüpfte Seil kommt, mithin wird sie im Ganzen dreifach; die hierdurch erzeugte Gesamtkraft wird durch die folgende Rolle abermals verdoppelt und um 1 vermehrt, ist also $= 7$, durch eine dritte bewegliche findet das Nämliche statt, und sie wird also $= 15$. Heißt demnach die Zahl der beweglichen Rollen n , so verhält sich die Last zu der das Gleichgewicht erzeugenden Kraft $= 2^{n+1} - 1 : 1$.

Der in der Mechanik überall anwendbare, seit CARTESIUS allgemein bekannte Hauptgrundsatz, daß bei bewegenden Kräften, namentlich beim Hebel und dessen zahlreichen Anwendungen, die von denselben durchlaufenen Räume und somit auch die Geschwindigkeiten zu den von den Lasten durchlaufenen Räume und folglich auch deren Geschwindigkeiten in einem umgekehrten Verhältnisse stehen, findet auch bei den Flaschenzügen Anwendung. Hiernach wird also derjenige Weg, welcher das letzte Ende des Seiles, oder das hieran als bewegende Kraft geknüpfte Gewicht, zurückzulegen hat, sich zu dem von der bewegten Last durchlaufenen verhalten wie die Größe der bewegten Last zu der Größe dieses bewegenden Gewichtes. Bei den gemeinen Flaschenzügen findet man also diesen, vom bewegenden Gewichte durchlaufenen Raum oder seine Geschwindigkeit, wenn man diese der bewegten Last zugehörigen Größen mit der Zahl der Seile multiplicirt, worauf die Last vertheilt ist. Daß dieses wirklich der Fall sey, folgt schon einfach daraus, wenn man berücksichtigt, daß die Verkürzungen der gesammten Seile beim Heben der Lasten über die letzte Rolle laufen, und daher der Zahl dieser Seile proportional seyn müssen. Bei dem oben angegebenen zweiten Smeaton'schen Flaschen-

zuge läßt sich dieses Theorem sehr gut daraus erläutern, wenn man zeigt, daß entweder die beiden Enden der Seile jedes mit einem gleich langen Theile über beide obere Rollen laufen, oder daß nach Festknüpfung des einen Endes die ganze Verkürzung über die eine dieser Rollen läuft, wonach also im letzteren Falle, die Geschwindigkeit dieses Seiles doppelt so groß, die zum Heben der Last erforderliche Kraft aber nur halb so groß ist. Auf gleiche Weise kommt dieses Gesetz bei den Potenzflaschenzügen in Anwendung, und es muß daher bei der ersten beweglichen Rolle die Verkürzung beider Seilenden durch die zweite bewegliche Rolle gehoben werden, mithin der von dieser durchlaufene Weg der doppelte derjenigen Höhe seyn, zu welcher die Last gehoben wird, und da dieses nämliche von der zweiten beweglichen Rolle in Beziehung auf die erste gilt, so wächst der von dem bewegenden Gewichte durchlaufene Raum nach den Potenzen der beweglichen Rollen. Indem dieser Grundsatz also als allgemein gültig anzusehen ist, so kann man umgekehrt die Wirksamkeit eines Flaschenzuges aus dem Verhältniß der Räume nachweisen, welche von den bewegenden Gewichten und den gehobenen Lasten durchlaufen werden, wie dieses unter andern durch LESLIE¹ bei dem zuletzt beschriebenen wirksamsten Flaschenzuge geschehen ist. Denken wir uns demnach die oberste bewegliche Rolle zuerst für sich, so wird das um sie geschlungene herabgehende Seilende zuerst um so viel herabgehen müssen, als die Last steigt; weil aber zugleich die Rolle selbst um einen gleichen Theil des Raumes herabsinkt, so wird der durchlaufene Raum hiernach verdoppelt, und weil zugleich die Rolle hierdurch der Last um einen gleichen Theil genähert wird, so muß die Summe der durchlaufenen Räume ein dreifacher desjenigen seyn, um welchen die Last gehoben ist. Eben diese Demonstration gilt von der zweiten beweglichen Rolle, wenn man die erste bewegliche als ruhend betrachtet, mithin ist der von dem über diese herabhängenden Seilende durchlaufene Raum der dreifache desjenigen, um welchen die Last gehoben wurde, und wenn jene erste als beweglich betrachtet wird, ein sechsfacher, wozu die erste Hebung der Last mit 1 hinzukommt, folglich im Ganzen ein siebenfacher u. s. w. Es folgt hieraus, daß man bei den ge-

Fig.
70.

1 Elements of Nat. Philos. I. 173.

meinen Flaschenzügen zwar durch Vermehrung der Rollen und Seile an Kraftaufwande gewinnt, eben so viel aber an der Geschwindigkeit verliert, womit die Last gehoben wird. Hiernach läßt sich dann auch die gesammte Länge des Seiles berechnen, welche erforderlich ist, um eine Last vermittelst eines Flaschenzuges von gegebener Zahl Rollen auf eine bestimmte Höhe zu heben. Heißt diese Höhe h , die Zahl der Seile, woran die Last hängt n , der Abstand der Axen des ersten Rollenpaares dann, wenn die Enden der Flaschen sich berühren, a , des zweiten a' u. s. w. der Umfang der ersten Rolle p , der zweiten p' u. s. w. und geht endlich das Seil, woran gezogen wird, von der obersten Rolle wieder auf den Boden herab, so ist die ganze Seiles-Länge

$$= 2(a + a' + a'' + \dots + a^{\frac{n}{2}}) + (p + p' + p'' + \dots + p^{\frac{n}{2}}) + h(n+1).$$

Bei den gewöhnlichen Potenzflaschenzügen hört das Emporheben der Last auf, wenn die erste bewegliche Rolle sich der obersten unbeweglichen genähert hat, bei dem zuletzt beschriebenen, wenn dieselbe mit der die Last unmittelbar tragenden in Berührung gekommen ist. Der Gebrauch der Potenzflaschenzüge, so große Lasten auch mit verhältnißmälsig geringer Kraft durch dieselben gehoben werden können, ist daher in sofern sehr beschränkt, als sie nicht gestatten, die Lasten zu einer beträchtlichen Höhe zu fördern. M.

F l i e g e n.

Das Fliegen, der Flug; *Volare*; *Voler*; *to fly* bezeichnet den unterscheidenden Vorzug der Vögel, durch Schlagen der Luft mit den Flügeln sich in derselben schwebend zu erhalten und fortzubewegen. Es ist dieses eine von den vielen Erscheinungen, die täglich vor unsern Augen vor sich gehen, deren vollständige Erklärung jedoch eine der schwierigsten Aufgaben der mechanischen Physik ausmacht.

Der Erste, welcher sich mit dem Fluge der Vögel auf eine gründliche Weise beschäftigte, ist der neapolitanische Professor BORELLI in seinem an scharfsinnigen und neuen Untersuchungen so reichen Werk *demotu animalium*. Was NIEUWENTYT in seiner Weltbeschauung über diesen Gegenstand vorbringt, ist nur von BORELLI entlehnt, und zwar nicht zur Erklärung der Erscheinungen, sondern nur in so weit es zu seinem Zwecke,

die Weisheit des Schöpfers in seinen Anordnungen ins Licht zu setzen, täglich seyn mochte. BORELLI¹ geht von der anatomischen Untersuchung der Flügelknochen und ihrer Befestigung aus. Er macht auf die Verschiedenheit in der Structur des Schulterblattes aufmerksam, das bei den gehenden Thieren einfach ist, bei den fliegenden hingegen, aus zwei unter einem etwas spitzen Winkel vereinigten Stücken besteht, von denen das eine durch mehrere Muskeln an den Rippen des Rückgrates festsetzt, das andere durch feste Bänder mit dem Brustbein zusammen hängt. Der Scheitel dieses Winkelstückes trägt die Pfanne, in welcher der Oberarm des Flügels sich bewegt; auf diesen folgt der Doppelknochen des Ellbogens und das Handgelenke. Die Länge dieses Flügelknochens ist je nach der Bestimmung des Vogels verschieden; bei den Fliegern, wie Adlern, Schwänen, Schwalben, beträchtlich; (oft länger als der ganze Körper) geringer bei der Henne, am unbedeutendsten beim Strauße. Er weist ferner auf den zarten Röhrenbau der Knochen des Vogels hin als Beförderungsmittel der Leichtigkeit und Festigkeit, und erörtert die merkwürdige Structur der Federn zur Durchschneidung und Aufhaltung der Luft. Sodann zeigt er die Möglichkeit des Fliegens aus der Elasticität der durch den Flügelschlag comprimirten Luft, die wie ein fester Boden widerstrebe, und erklärt den Flug für eine zusammengesetzte Bewegung, „aus schnell wiederholten Sätzen durch die Luft“. Die Brustmuskeln, die beim Menschen nur etwa den sechzigsten Theil der übrigen Muskeln ausmachen, klein und wenig fleischig sind, betragen beim Vogel an Ausdehnung, Kraft und Gewicht mehr als alle übrigen zusammen. Selbst das Brustbein, das bei jenen ganz flach ist, ist bei diesem mit einer winkelrecht aufgesetzten Wand versehen, und macht die Lagerstätte² der größten und kräftigsten Muskeln aus. Diese

1 Joh. Alph. Borelli Neapolitani Matheseos Professoris de Motu animalium cet. Von diesem classischen Werke sind 7 Ausgaben vorhanden; die erste Romae 1680 und 81; die zweite Lugd. Bat. 1685; die dritte Genevae 1685; die vierte Bononiae 1699; die fünfte Lugd. Bat. 1710; die sechste Neapoli 1734; die siebente Hagae Com. 1741; sämmtlich in 4to. Ob noch spätere existiren, ist mir unbekannt. S. Zeitsch. für Astronomie. III. 390. Die Abh. über das Fliegen findet sich auch in Le Clerc und Manget Biblioth. Anat. 1685. Fol. II. 816 und 890.

2 Die besten Flieger haben auch in der Regel die höchste und

sind am Gelenke des Oberarms selbst befestigt, und stehen also nur etwa um ein Sechstel seiner Länge vom Centrum des Hebels ab, während dem sie beim Menschen an der Röhre desselben angeheftet sind: dadurch wird eine allzu starke Ausspannung dieser Muskeln verhindert. Der Deltoides, der beim Menschen zur Erhebung des Armes bestimmt ist, fehlt beim Vogel; seine Stelle vertritt ein dünner, verlängerter Muskel, der durch eine Oeffnung im Gelenke des Schulterknochens den Flügel aufwärts gegen den Rücken zieht; auch die Muskeln der Ellbogen- und Handgelenke, die beim Menschen zu so wichtigen Verrichtungen bestimmt sind, sind bei den Vögeln von geringer Bedeutung. Nachdem BORELLI sich bemüht hat zu zeigen, daß der Schwerpunct des Vogels im untern Theile des Körpers sich befinde, bemerkt er ganz richtig, daß die vom Flügelschlag verdrängte Luftmasse einem körperlichen Sector aus der Fläche des Flügels und seiner Drehung gleich sey, und daß der Widerstand der Luftmasse im Schwerpuncte dieses körperlichen Sectors sich vereinige ¹. Diesen Widerstand leitet er einerseits von der Reibung der in allerlei Wirbeln in einander bewegten Lufttheile, hauptsächlich aber von ihrer Elasticität her, deren Wirkung mit der Geschwindigkeit des Flügelschlags zunimmt, so daß, wenn diese der Schnelligkeit, mit welcher die Luft ausweicht, gleich ist, der Vogel schwebend erhalten wird, und je nach dem Verhältniß dieser beiden Geschwindigkeiten steigt oder sinkt. Durch eine Berechnung, die freilich bedeutenden Einsprüchen ausgesetzt seyn dürfte, hatte BORELLI zu zeigen gesucht, daß die Kraft der Muskeln, die beim Menschen zum Sprunge erforderlich ist, nahe das 3000 fache seines Gewichts betrage; er glaubt nun, nach dem Verhältniß der Muskeln und der großen Leichtigkeit der Vögel die Muskelkraft der Letzteren beim Schlagen der Luft mit den Flügeln so ziemlich aufs vierfache jener Zahl setzen zu können, woraus er folgert, daß die Muskelkraft der Flügel das Gewicht des Vogels immerhin um zehntausend mal übertreffe. Er widerlegt hierauf die Meinung derjenigen Naturforscher, welche die horizontale Fortbewegung der Vögel mit der Fahrt eines schiffleischigste Brust, ganz das Gegentheil findet sich beim Strauß, der eine wenig erhabene Brust, aber dafür eine beträchtliche Fleischmasse auf dem Rücken hat.

¹ In centro gravitatis sectoris solidi.

fes verglichen, das durch die Ruderschläge vorwärts getrieben wird; er bemerkt, daß diese Voraussetzung der Vernunft und der Evidenz zuwiderlaufe, indem die Flügelschläge immer in verticaler, nie in horizontaler Richtung statt fänden, und erklärt hingegen das Vorwärtsausweichen aus der Biegsamkeit der Federn, vermöge welcher die Flügel beim Schlagen der Luft, an den Enden aufwärts gekrümmt, die Gestalt eines Keiles annehmen, an dessen schräger Fläche der Widerstand der Luft in horizontale sowohl als verticale Abtreibung sich zerlege. Der Schwanz diene dem Vogel nicht zur Seitenlenkung, wie die alten Philosophen meinten, indem er nicht wie das Steuer eines Schiffes vertical gestellt sey, sondern nur in horizontaler Lage sich ausbreite. Tauben, die man der Schwanzfedern beraubt, wissen sich dennoch gut umzuschwenken, so wie auch die Fledermäuse, denen dieses Werkzeug ganz abgeht. Der Schwanz diene nur zum Auf- und Niedersteigen, die Seitendrehung hingegen werde durch verstärktes Schlagen und größeres Ausbreiten des einen Flügels bewirkt, wodurch der Körper auf der äußern Seite mehr gehoben und schneller fortbewegt, mithin um den weniger thätigen Flügel als Ruhepunct gedreht werde; die Wendung des Kopfes und Halses habe hieran durchaus keinen Antheil. Wenn die Kraft, fährt BORELLI fort, mit welcher der Vogel aufwärts steigt, seiner Schwere das Gleichgewicht hält, so kann er wohl eine Zeitlang in der Luft horizontal dahin schweben, ist aber bald wieder genöthigt, durch einige Flügelschläge die schwindende Wurfkraft zu ersetzen, wobei ihm der Widerstand der Luft durch Aufhalten des Falles zu statten kommt, so wie eine dünne Stahlfeder, im Wasser, wenn sie nicht nach der Schneide fallen kann, nur langsam niedersinkt. Eben dieser Widerstand wirkt auch beim Niedersetzen einem allzurachen Anstosse auf den Boden entgegen, indem der Vogel seinen Schweif möglichst ausbreitet, und wohl auch durch ein Paar schnelle Schläge der Flügel die Fallkraft zu mäfsigen sucht. Daß Menschen sollten fliegen können, hält BORELLI für unmöglich, vorzüglich deswegen, weil es ihnen an den dazu nöthigen Brustmuskeln gebreche. Diese müßten der Analogie zufolge etwa den sechsten Theil vom Gewichte des menschlichen Körpers betragen, und mit den Armen eine Kraftäußerung ausüben können, die das Gewicht des Körpers um zehntausendmal überträfe, da sie jetzt kaum den hundert-

sten Theil jenes Gewichts zu tragen vermögen. Der Vorschlag, mit Hülfe einer luftleeren Blase oder hohlen Kugel aufzusteigen, sey eben so wenig ausführbar. Diese müßte von beträchtlicher Größe und von Metall seyn, könnte aber weder mit irgend einem pneumatischen Apparate, noch auch durch Füllen mit Quecksilber luftleer gemacht werden; und der Druck der Luft würde ein solches dünnes Gefäß bald zusammendrücken. Selbst, wenn alles dieses zu erreichen stände, so würde die Kugel entweder zu schwer bleiben, und an der Erde kleben, oder im Fall sie zu leicht wäre, sich in die Region der Wolken erheben, und gleich diesen ein unlenkbares Spielwerk der Winde seyn.

Man sieht, daß BORELLI gleich bei der ersten Untersuchung keinen wesentlichen Umstand übersehen, die Erscheinung richtig aufgefaßt, und mit beifallswürdigen Erklärungen begleitet hat. Eine eigentliche Theorie des Fluges war von dem damaligen Bestande der Mechanik nicht zu erwarten. Diese wurde erst 100 Jahre später von dem Preussischen Consistorialrath JOH. ES. SILBERSCHLAG¹ versucht. Seine Abhandlung ist jedoch mehr durch die eingestreuten zahlreichen praktischen Bemerkungen, als von theoretischer Seite interessant. Ein Mißgriff, den er gleich zu Anfang derselben macht, leitet ihn auf den etwas auffallenden Satz: „daß der Widerstand der Luft sich wie die Cubi der Geschwindigkeiten der in ihr bewegten Körper verhalte.“ Das specifische Gewicht des Vogels wird = 1, und dasjenige der Luft zu $\frac{1}{1000}$ angenommen, weil, wie der Verf. sich ausdrückt, die Vögel meist in höherer und dünnerer Luft schweben. Von der Lage des Widerstandspunctes ist keine Rede, und die Geschwindigkeit des Flügels wird auf den Ramm bezogen, den seine äußerste Spitze durchläuft. So unzureichend diese Theorie ist, so schätzbar wird dagegen SILBERSCHLAG'S Arbeit durch mancherlei eingestreute praktische Bemerkungen und besonders durch die Data, die er über den Flug eines zahmen Adlers mittheilt. Dieser wog 8 ℔ und schleppte am Fuß eine vierpfündige Kugel nach; die Länge seiner Flügel von Spitze zu Spitze (den Leib mit inbegriffen) bestimmte er zu 6 Fuß (Rheinl.²) ihre Breite zu 1½ F. Den Schwingungspunct des Flügels setzt er auf 19 Zoll vom Gelenke ab, die Stelle,

¹ Schriften der Berl. Ges. Naturforsch. Freunde 1784. Bd. II. S. 214 — 270.

wo die Brustmuskeln am Flügelarm angewachsen sind zu $\frac{1}{4}$ Zoll: Hieraus berechnet er, da das halbe Gewicht des Adlers mit der Kugel 6 Pfunde betrug, die Muskelkraft eines Flügels bei jedem Schläge auf 152 Pfunde, also nur auf das 38fache seines Gewichts, was freilich von BORELLI's übertriebener Schätzung weit absteht.

Ungleich vollständiger und wissenschaftlicher behandelte diesen Gegenstand der Akademiker NIC. FUSS in den Petersburgischen Denkschriften vom J. 1799. ¹ Nachdem er die wesentlichen Bestimmungsstücke des Fluges für irgend eine beliebige Gestalt der Flügel hergeleitet hat, bleibt er bei der Figur eines Dreiecks stehen, dessen Eckpunkte das Schultergelenk des Flügels O, das Ellbogengelenk P und seine Endspitze Q sind; und wendet seine Formeln auf die von SILBERSCHLAG gegebenen Data an. Endlich widerlegt er die Meinung REINHOLD FORSTER'S ², daß der Vogel eine Art Luftballon sey, welcher durch die Verdünnung der Luft in den Knochen, und durch Füllung derselben mit einem durch den Respirations-Process erzeugten leichten (phlogistisirten) Gase, sich erhebe. Es sey p das Gewicht eines Volumens Wasser von der Größe des Vogels und wenn, wie FORSTER annimmt, ein Fünftel dieses Volumens in Höhlungen und Luftbehältern besteht, so wäre das Gewicht des Vogels (vorausgesetzt, daß die Höhlungen atmosphärische Luft enthalten) $= \frac{4}{5}p + \frac{1}{500}p$, oder wenn sie gar mit einem zehnmal leichtern Gase gefüllt wären $= \frac{4}{5}p + \frac{1}{10.800}p$ mithin ist der Unterschied des geringsten Gewichts des Vogels, und des schwersten der umgebenden Luft $= \frac{4}{5}p + \frac{1}{10.800}p = \frac{1}{0.0}p = \frac{31951}{40000}p$, und der Vogel bleibt dem ungeachtet noch um 0,8 seines Gewichts schwerer als die Luft, die ihn tragen soll. Selbst bei der unglaublichen Voraussetzung, daß der Vogel nicht schwerer sey, als die Luft nahe an der Erde, würde ihn doch die Phlogistisirung der Luft in seinen Knochen um $\frac{1}{10}$ nicht höher als $7\frac{1}{2}$ Fufs erheben.

¹ Nova Acta Soc. Scient. Imper. Petrop. Tom, XV. 1806. p. 88.

² Neue Theorie über den Flug der Vögel, nach den Grundsätzen der Hydrostatik. Berliner Monatschrift October 1784.

Es werde für einen gegebenen Abstand x vom Drehungspuncte des Flügels seine Breite durch y bezeichnet, so daß $\int y dx$ die Oberfläche desselben ausdrückt, wobei Gestalt und GröÙe desselben durch eine Gleichung zwischen y und x gegeben ist; M heiÙe sein Trägheitsmoment in Beziehung auf die Schwingungsaxe. Ferner bezeichne OA die Lage des Flügels vor dem Schlage, OU nach demselben; der durchlaufene Winkel AOU sey $=\varphi$; $AO M = \delta$. Man setze die Winkelgeschwindigkeit des Flügels für einen gegebenen Punct D (OD als Einheit angenommen) $= u$, die Dauer eines einfachen Flügelschlages $= t$, endlich sey II das Moment der größten Kraft, welche der Vogel auf den unbewegten Flügel ausüben, und α die größte Geschwindigkeit, welche er dem Puncte D des Flügels mittheilen kann, wenn dieser keinen Widerstand zu überwinden hat; so ist $II \left(1 - \frac{u^2}{\alpha^2}\right)$ das Moment der Kraft, die der Vogel in der Lage OU auf den Flügel ausübt. Die Winkelgeschwindigkeit in dem Abstände $OZ = x$, wird $= ux$, die dieser Geschwindigkeit entsprechende Höhe $= \frac{u^2 x^2}{4g}$; wobei g die Fallhöhe der Körper in der ersten Secunde bedeutet. Würde der Flügel im Wasser bewegt, so hätte das Element des Flügels $y dx$ einen Widerstand zu erleiden, welcher $y ax$ zur Basis und $\frac{u^2 x^2}{4g}$ zur Höhe hätte. Dieser Widerstand ist also $= \frac{u^2 x^2}{4g} y dx$, und sein Moment in Beziehung auf die Axe $MN = \frac{u^2 x^2}{4g} \cdot x y dx$. Setzt man die Dichtigkeit der Luft zu derjenigen des Wassers $= n : 1$, und nennt $\int x^2 y dx = A$; und $\int x^3 y dx = B$, so ist der ganze Widerstand, den der Flügel erleidet, oder die Kraft V , welche den Vogel in Bewegung setzen kann, $= \frac{n A u^2}{4g}$, und ihr Moment $= \frac{n B u^2}{4g}$. Wenn daher diese Kraft als senkrecht auf die Fläche des Flügels im Puncte C wirkend gedacht wird, so findet sich OC aus der Gleichung $V \cdot OC = \frac{n B u^2}{4g}$; oder $OC = \frac{n B u^2}{4g \cdot V} = \frac{B}{A}$. Das Trägheitsmoment M des Flügels ist, wenn wir seine Dicke als gleichförmig $= d$ annehmen, $= d \int x^2 y dx$; (für $x = 0$ bis $x = OA$).

Fig.
72.

Nun hat man nach dem Grundsatz der Beschleunigung $\frac{Mdd\varphi}{2gdt^2} = \Pi \left(1 - \frac{u^2}{a^2}\right) - \frac{nBu^2}{4g}$; da nun $u = \frac{d\varphi}{dt}$, so ist $d\varphi^2 = u^2 dt^2$, und wenn man differenzirt, $d\varphi d^2\varphi = u du dt^2$, wobei dt als constant gedacht wird. Dieses giebt $\frac{d^2\varphi}{dt^2} = \frac{u du}{d\varphi}$,

welche in obiger Formel substituirt, sie in

$$\frac{M}{2g} \cdot \frac{u du}{d\varphi} = \Pi - u^2 \left(\frac{\Pi}{a^2} + \frac{nB}{4g} \right) \text{ verwandelt.}$$

Macht man zur Abkürzung $\frac{2g}{M} \left(\frac{\Pi}{a^2} + \frac{nB}{4g} \right) = \lambda$, und $\frac{2g\Pi}{M} = \mu$, so erhält die Gleichung folgende einfachere Gestalt:

$$u du + \lambda u^2 d\varphi = \mu d\varphi.$$

Um diese Gleichung zu integriren, multiplicire man sie mit $2e^{2\lambda\varphi}$, (wo e die Zahl bezeichnet, deren natürlicher Logarithmus = 1 ist) und man erhält

$2e^{2\lambda\varphi} u du + 2\lambda u^2 e^{2\lambda\varphi} d\varphi = 2\mu e^{2\lambda\varphi} d\varphi$, deren Integral ist $e^{2\lambda\varphi} u^2 = \frac{\mu}{\lambda} (C + e^{2\lambda\varphi})$; wobei die Constante C

durch die Bedingung bestimmt wird, daß für $\varphi = 0$, auch $u = 0$, also $C = -1$ sey, woraus man folgende integrierte Gleichung erhält:

$$e^{2\lambda\varphi} u^2 = \frac{\mu}{\lambda} (e^{2\lambda\varphi} - 1).$$

Es ergibt sich aus derselben erstens:

$u = \sqrt{\frac{\mu}{\lambda} (1 - e^{-2\lambda\varphi})}$, und hieraus der Widerstand, den die Luft dem Flügel entgegensetzt

$V = \frac{n\Lambda^2 u}{4g} = \frac{n\mu\Lambda}{4\lambda g} (1 - e^{-2\lambda\varphi})$, endlich das Zeitelement

$dt = \frac{d\varphi}{u} = \sqrt{\frac{\lambda}{\mu} \frac{d\varphi e^{\lambda\varphi}}{e^{2\lambda\varphi} - 1}}$, dessen Integral die Dauer eines Flügelschlags angiebt. Setzt man zu diesem Ende

$\sqrt{e^{\lambda\varphi} - 1} = z - e^{\lambda\varphi}$, so ist $e^{\lambda\varphi} = \frac{z^2 + 1}{2z}$; mithin

$d\varphi e^{\lambda\varphi} = \frac{(z^2 - 1) dz}{2\lambda z^2}$; und $\sqrt{e^{2\lambda\varphi} - 1} = \frac{z^2 - 1}{2z}$;

dieses substituirt, wird

$$t = \frac{\sqrt{\lambda}}{\mu} \int_{\varphi}^{\lambda \varphi} \frac{e^{\lambda \varphi}}{\sqrt{(e^{2\lambda \varphi} - 1)}} = \frac{1}{\sqrt{\lambda \mu}} \int \frac{dz}{z} = \frac{1}{\sqrt{\lambda \mu}} \cdot \log. z$$

und indem man den Winkel φ wieder einsetzt,

$$t = \frac{1}{\sqrt{\lambda \mu}} \cdot \log. (e^{\lambda \varphi} + \sqrt{e^{2\lambda \varphi} - 1}), \text{ wobei für } \varphi = 0$$

auch $t = 0$ wird, also keine Constante erforderlich ist.

Fig.
71.

Nimmt man dem Obigen zufolge an, daß der Flügel ziemlich nahe einem Dreieck gleich sey, das durch die, den Drehungspunct O durchschneidende Queraxe OD halbtirt wird, so wird $OD = a$, $PQ = b$, $OZ = x$, $EF = y$, und der Winkel $PDO = \zeta$; und da $x : y = a : b$, so ist $y = \frac{bx}{a}$. Das Element der Flügelfläche ist nun $y dx \cdot \text{Sin. } \zeta$, und so erhalten wir:

$$A = \int x^2 y dx \cdot \text{Sin. } \zeta \left(\begin{array}{l} \text{für } x=0 \\ \text{bis } x=a \end{array} \right) = \frac{1}{4} a^3 b \cdot \text{Sin. } \zeta$$

$$B = \int x^3 y dx \cdot \text{Sin. } \zeta \left(\begin{array}{l} \text{für } x=0 \\ \text{bis } x=a \end{array} \right) = \frac{1}{5} a^4 b \cdot \text{Sin. } \zeta$$

$$M = \int x^2 y dx \cdot \text{Sin. } \zeta \left(\begin{array}{l} \text{für } x=0 \\ \text{bis } x=a \end{array} \right) = \frac{1}{4} a^3 b d \cdot \text{Sin. } \zeta$$

Fig.
72.

Hieraus wird $OC = \frac{B}{A} = \frac{5}{4} a$.

Will man die Steigekraft des Vogels bestimmen, so muß man den Widerstand V , der in der Richtung VI wirkt nach den Richtungen CG und CH , von denen die eine horizontal, die andere vertical ist, zerlegen. Dieses giebt

$$CG = V \cdot \text{Sin. } (\delta + \varphi) \text{ und } CH = -V \cdot \text{Cos. } (\delta + \varphi).$$

Das Moment der erstern Kraft muß das Moment des halben Gewichts des Vogels nothwendig übertreffen, wenn es steigen soll. Bisher haben wir die Geschwindigkeit u , die Kraft V , und die Zeit t durch den Winkel φ ausgedrückt. Wollte man umgekehrt u , V , und φ durch t geben, so haben wir

$$t \sqrt{\lambda \mu} = \log. (e^{\lambda \varphi} + \sqrt{e^{2\lambda \varphi} - 1}), \text{ mithin auch}$$

$$e^{t \sqrt{\lambda \mu}} = e^{\lambda \varphi} + \sqrt{e^{2\lambda \varphi} - 1}, \text{ und hieraus}$$

$$e^{\lambda \varphi} = \frac{e^{2t \sqrt{\lambda \mu}} + 1}{2e^{t \sqrt{\lambda \mu}}} = \frac{e^{t \sqrt{\lambda \mu}} + e^{-t \sqrt{\lambda \mu}}}{2},$$

was man auch durch $e^{\lambda \varphi} = \text{Cos. hyp. } t \sqrt{\lambda \mu}$ geben kann.

Und so wird der Winkel

$$q = \frac{1}{\lambda} \log. \left(\frac{e^{t\gamma\lambda\mu} + e^{-t\gamma\lambda\mu}}{2} \right) = \frac{1}{\lambda} \log. \text{Cos. hyp. } t\gamma\lambda\mu.$$

Die Geschwindigkeit $u = \sqrt{\frac{\mu}{\lambda} (1 - e^{-2\lambda q})}$, wird

$$u = \sqrt{\frac{\mu}{\lambda} \cdot \frac{e^{2t\gamma\lambda\mu} - 1}{e^{2t\gamma\lambda\mu} + 1}} = \sqrt{\frac{\mu}{\lambda}} \text{Tang. hyp. } t\gamma\lambda\mu, \text{ und hier-}$$

aus endlich die Kraft $V = \frac{nAu^2}{4g} = \frac{nA\mu}{4\lambda g} (\text{Tang. hyp. } t\gamma\lambda\mu)^2$

Da es schwierig seyn dürfte, die oben vorausgesetzte größte Geschwindigkeit a anzugeben, so ist es einfacher, mit Uebergang derselben statt $\Pi \left(1 - \frac{u^2}{a^2}\right)$ schlechtweg Π zu

setzen. Dieses ändert nur die Constante λ , die nun $= \frac{nB}{2M}$ wird.

Macht man $\Pi = fP$, wobei P die Muskelkraft selbst und f ihren Hebelarm bedeutet, so ist $\mu = \frac{2gfP}{M}$. Alles Uebrige bleibt ungeändert.

Nennt man ferner p das Gewicht des Vogels und γ die Geschwindigkeit, die er haben muß, damit der Widerstand der Luft R diesem Gewichte gleich werde, ist sodann v die Geschwindigkeit des Aufsteigens, welche nach einem Fluge von τ Secunden dem Widerstande R entspricht, so hat man, da die Widerstände den Quadraten der Geschwindigkeit proportional sind, $p:R = \gamma^2:v^2$, mithin $R = \frac{pv^2}{\gamma^2}$. Die größte Wirkung der beiden Flügel ist $2V = 2\frac{\Pi}{a} = \frac{2fP}{a}$. Dieser Kraft steht das Gewicht des Vogels p , und der Widerstand der Luft R entgegen. Wir haben also folgende Differenzialgleichungen aufzulösen:

$$dv = \frac{2g d\tau}{p} (2V - p - R) \text{ oder auch}$$

$$dv = 2g d\tau \left(\frac{2fP}{a} - 1 - \frac{v^2}{\gamma^2} \right), \text{ aus dieser ergibt sich,}$$

wenn man $\frac{2fP}{ap} = \varepsilon$ setzt,

$$d\tau = -\frac{\gamma^2 dv}{2g [(1-\varepsilon)\gamma^2 + v^2]} \text{ und}$$

$$d\tau = +\frac{\gamma^2 dv}{2g [(\varepsilon-1)\gamma^2 - v^2]}.$$

Die Integrale dieser beiden Formeln sind wesentlich verschieden, je nach dem Werthe von ε , welcher bei verschiedenen Vögeln, je nach ihrer Natur, nach Gestalt und Größe ihrer Flügel, ihrer Muskelkraft, und selbst bei dem nämlichen Vogel je nach seiner Belastung über sein eigenes Gewicht hinaus verschieden seyn kann. Ist $\varepsilon < 1$, so gilt die erste Formel, deren

Integral $\tau = C - \frac{\gamma}{2g\sqrt{1-\varepsilon}} \text{ Arc. Tang. } \frac{v}{\gamma\sqrt{1-\varepsilon}}$ seyn wird,

wobei die Constante C so zu bestimmen ist, daß für den Anfang der Bewegung, wo v der Anfangsgeschwindigkeit c gleich ist, die Zeit τ verschwinde.

Dieses macht die Constante

$$C = \frac{\gamma}{2g\sqrt{1-\varepsilon}} \text{ Arc. Tang. } \frac{c}{\gamma\sqrt{1-\varepsilon}}, \text{ also}$$

$$\tau = \frac{\gamma}{2g\sqrt{1-\varepsilon}} \left[\text{Arc. Tang. } \frac{c}{\gamma\sqrt{1-\varepsilon}} - \text{Arc. Tg. } \frac{v}{\gamma\sqrt{1-\varepsilon}} \right]$$

oder mit Benutzung der bekannten Reductionen trigonometrischer Formeln

$$\tau = \frac{\gamma}{2g\sqrt{1-\varepsilon}} \cdot \text{Arc. Tang. } \frac{(c-v)\gamma\sqrt{1-\varepsilon}}{\gamma^2(1-\varepsilon) + cv}, \text{ welcher Ausdruck hinwiederum uns die erhaltene Geschwindigkeit giebt, nämlich}$$

$$v = \frac{c\gamma\sqrt{1-\varepsilon} - \gamma^2(1-\varepsilon) \cdot \text{Tg. } \frac{2g\tau\sqrt{1-\varepsilon}}{\gamma}}{\gamma\sqrt{1-\varepsilon} + c \cdot \text{Tg. } \frac{2g\tau\sqrt{1-\varepsilon}}{\gamma}}.$$

Diese kann erst nach einer gewissen Zeit

$$\tau = \frac{\gamma}{2g\sqrt{1-\varepsilon}} \cdot \text{Arc. Tg. } \frac{c}{\gamma\sqrt{1-\varepsilon}},$$

Null werden. Da nun auf den ersten Flügelschlag ein zweiter, auf den zweiten ein dritter und so ferner folgt, so ist klar, daß selbst ein mit seiner Beute oder sonstigen Last beladener Vogel durch die bloße Kraft seiner Flügel zu einer gewissen Höhe sich erheben kann. Um den in der Zeit τ durchlaufenen Raum

s zu bestimmen, multiplicire man die obige Gleichung

$$dv = 2g d\tau \left(\frac{2fP}{ap} - 1 - \frac{v^2}{\gamma^2} \right) \text{ durch } \gamma^2 v, \text{ und setze statt}$$

$\frac{2fP}{ap}$ seinen Werth ϵ ein, so hat man

$$\gamma v^2 dv = 2g v d\tau [(\epsilon - 1) \gamma^2 - v^2] \text{ oder, da } v d\tau = ds;$$

$$\gamma^2 v dv = 2g ds [(\epsilon - 1) \gamma^2 - v^2], \text{ und hieraus}$$

$$ds = \frac{\gamma^2 v dv}{2g[(1 - \epsilon) \gamma^2 + v^2]}, \text{ und dessen Integral}$$

$$s = C - \frac{\gamma^2}{4g} \cdot \log. [1 - \epsilon) \gamma^2 + v^2].$$

Für $v = c$ ist $s = 0$; mithin die Constante

$$C = \frac{\gamma^2}{4g} \cdot \log. [1 - \epsilon) \gamma^2 + c^2];$$

also endlich der durchlaufene Raum

$$s = \frac{\gamma^2}{4g} \cdot \log. \frac{(1 - \epsilon) \gamma^2 + c^2}{(1 - \epsilon) \gamma^2 + v^2}.$$

Was dann die Geschwindigkeit γ betrifft, bei welcher der Widerstand der Luft R dem Gewichte p des Vogels gleich wird, so bemerke man, daß bekanntlich der Widerstand, den eine bewegte Fläche in einer Flüssigkeit erleidet, dem Gewichte eines Prisma gleich ist, welches die bewegte Fläche zur Basis, und die der Geschwindigkeit zukommende Höhe zur Höhe hat, also $= \frac{v^2}{4g}$; und so erhalten wir, wenn der Flächeninhalt der

Basis durch H^2 ausgedrückt wird, den Widerstand $R = \frac{H^2 \gamma^2}{4g}$, mit-

$$\text{hin } \gamma = \frac{\sqrt{4gp}}{H}.$$

Für den Fall, wo $\epsilon > 1$, wie dieses bei den unbelasteten guten Fliegern statt findet, hat man nach Obigem

$$d\tau = \frac{\gamma^2 dv}{2g[(\epsilon - 1) \gamma^2 - v^2]}; \text{ dessen Integral}$$

$$\tau = C + \frac{\gamma}{4g \sqrt{\epsilon - 1}} \log. \frac{\gamma \cdot \sqrt{\epsilon - 1} + v}{\gamma \cdot \sqrt{\epsilon - 1} - v} \text{ ist, wobei}$$

die Constante $C = - \frac{\gamma}{4g \sqrt{\epsilon - 1}} \log. \frac{\gamma \cdot \sqrt{\epsilon - 1} + c}{\gamma \cdot \sqrt{\epsilon - 1} - c}$ gesetzt werden muß. Dieses giebt die Zeit

$$\tau = \frac{\gamma}{4g\sqrt{\epsilon-1}} \log. \frac{(\gamma\sqrt{\epsilon-1}-c) \cdot (\gamma\sqrt{\epsilon-1}+v)}{(\gamma\sqrt{\epsilon-1}+c) \cdot (\gamma\sqrt{\epsilon-1}-v)}$$

Setzen wir der Kürze wegen $\frac{\gamma\sqrt{\epsilon-1}-c}{\gamma\sqrt{\epsilon-1}+c} = \mathcal{X}$ und gehen

$$\text{zu den Zahlen über, so ist } e^{\frac{4g\tau\sqrt{\epsilon-1}}{\gamma}} = \mathcal{X} \cdot \frac{\gamma\sqrt{\epsilon-1}+v}{\gamma\sqrt{\epsilon-1}-c},$$

woraus sich die Geschwindigkeit

$$v = \gamma\sqrt{\epsilon-1} \cdot \frac{e^{\frac{4g\tau\sqrt{\epsilon-1}}{\gamma}} - \mathcal{X}}{e^{\frac{4g\tau\sqrt{\epsilon-1}}{\gamma}} + \mathcal{X}} \text{ ergibt.}$$

Welchen Werth auch die Größen c, γ, ϵ haben mögen, so ist

wenn $\epsilon > 1$ immer $\mathcal{X} < 1$, und $e^{\frac{4g\tau\sqrt{\epsilon-1}}{\gamma}} > 1$, und die Geschwindigkeit kann niemals Null werden; sie ist im Gegentheil zunehmend, mit der Zeit τ , ohne jedoch den Werth $\gamma\sqrt{\epsilon-1}$, den sie mit $\tau = \infty$ erreicht, überschreiten zu können. Man könnte hieraus den seltsamen Schluss ziehen, daß der Vogel ohne Ende steigen könne; allein in großen Höhen nimmt der Werth von n , mithin auch der von V bedeutend ab, und auch P und ϵ müssen sich allmählig vermindern. So wie aber das Letztere kleiner als 1 wird, so geht die *zunehmende* Geschwindigkeit in eine *abnehmende* über. Für $\epsilon > 1$ wird der durchlaufene Raum $s = \frac{\gamma^2}{4g} \log. \text{ hyp. } \frac{\gamma^2(\epsilon-1)-c^2}{\gamma^2(\epsilon-1)-v^2}$.

So weit gehen die Entwicklungen der Theorie des Fliegens, wie sie FUSSE gegeben hat; obwohl sie noch manches unerklärt lassen, so sind sie doch als erste mathematische Erörterung eines von dieser Seite noch unversuchten Gegenstandes von großem Werthe, und FUSSE setzt durch Anwendung seiner Formeln auf die von SILBERSCHLAG aufgestellten Data sowohl die Richtigkeit seiner Theorie als auch überhaupt die Möglichkeit eines kräftigen und schnellen Fluges durch bloßen Flügelschlag außer Zweifel. Er nimmt $OD = a$ zu 20, $PQ = b$ zu 40 engl. Zollen, die Dicke des Flügels d zu $\frac{1}{4}$ Zoll, und den Abstand des Flügelgelenkes von der Längsaxe des Vogels $= K$ zu 2 Z. an, setzt den Winkel $\zeta = 40^\circ$; $\delta = 15^\circ$; $g = 16\text{F.} = 192\text{Z.}$

Fig.
71.

den Cubikfuß Wasser = 70 Pf., das Gewicht des Adlers ohne die Kugel 8 Pf., mit derselben 12 Pf. oder $13\frac{1}{4}$ Pf. russ. Gewicht, $n = \frac{1}{8\frac{1}{50}}$; die Länge des Hebelarms f , an welchem die Brustmuskeln zogen, = $\frac{3}{4}$ Zoll, $P = 152$ Pf. = 4295 Cubikzolle Wasser, die Weite des Flügelschlages, oder den Winkel φ leitet er aus der Bemerkung SILBERSCHLAG's ab, daß die Flügelspitze, wenn sie im ruhenden Zustande eben so hoch erhoben wurde, wie der Adler beim Fliegen zu thun pflegte, einen Bogen von 5 Graden durchlief, und bestimmt ihn dem zufolge auf $95^\circ = \frac{19\pi}{36}$. Aus diesen Daten folgt $A = 51423$; $B = 822768$;

$M = 12856$; und hieraus $\lambda = \frac{nB}{2M} = \frac{2na}{5d} = 0,037647$;

$\mu = \frac{2gfp}{M} = 96,2233$. Hieraus ergibt sich die Dauer eines einfachen Flügelschlages $t = 0,1876$ Secunden; mithin $2t = 0,3752$ Sec., was mit SILBERSCHLAG's Bemerkung, daß der Adler in einer Secunde nahe drei Flügelschläge gemacht habe, ziemlich gut zusammenstimmt¹. Die Bewegung u des Flügels in seiner tiefsten Lage ist hiernach = 17,32 Fuß, mithin die erworbene Geschwindigkeit der Flügelspitze = 28,87 F., V wird = 23,6 Cubikzoll Wasser oder 0,96 Pf. Zerlegt man diese Kraft, so wird die verticale Wirkung = 0,90 und ihr Moment 14,4, während dem das Moment der Hälfte des zu hebenden Gewichts, nämlich $\frac{K}{2} \cdot 13,75 = 1375$ ist. Die

große Schnelligkeit des Flügelschlages (28,8 F. in d. Sec.) bringt für den nächsten Augenblick einen luftverdünnten Raum oberhalb der Flügel zuwege, so daß der Widerstand, den die Luft dem Aufsteigen des Vogels entgensetzt, meist nur seinen abgerundeten Rücken und zwar in schräger Richtung trifft, und so wird die Fläche H^2 nur etwa $\frac{3}{8}$ vom horizontalen Querschnitt des Vogels, den man auf einen halben Quadratfuß setzen kann, betragen; H^2 wird demnach = $\frac{3}{8}$, und hieraus die Geschwindigkeit $\gamma = 48,44$; ε wird = $\frac{2}{3}\frac{g}{\lambda}$; und somit ist die Zeit, in welcher die durch den ersten Flügelschlag erlangte Geschwindigkeit des Vogels, die wir zu 10 Fuß in der Secunde annehmen können, verschwindet, = 4,97 Sec. Hieraus wird

1 Silberschlag's Abh. S. 226.

$V = 9,43$, und der am Ende des ersten Flügelschlags, d. h. in $0,1876$ Secunden durchlaufene Weg $= 1,89$ Fufs. Ist der Vogel von seiner vierpfündigen Kugel befreit, so wird $p = 8$. Pf. $\gamma = 39,5$; $\epsilon = \frac{3}{4}$; $V = 12,08$ F.; und $s = 2,07$ Fufs.

Diese Berechnungen zeigen genugsam, dafs ein kräftiger Flieger, der nur sein eigenes Gewicht zu tragen hat, gar wohl im Stande ist, durch die bloße Kraft seiner Flügel mit immer gröfserer Schnelligkeit zu einer bedeutenden Höhe sich zu erheben, bis die zunehmende Verdünnung der Luft in den höhern Regionen die Werthe von n , P und ϵ so stark ändert, dafs die Geschwindigkeit abnehmend wird. Zugleich erhellet, dafs ihm nach einem anhaltenden und lebhaften Flügelschlage Geschwindigkeit genug übrig bleibt, um auch ohne sichtbare Bewegung der Flügel, eine Zeitlang horinzontal in der Luft fortzuschweben, wozu dann noch der Widerstand der Luft und wohl auch ihre Strömungen ihm behülflich seyn mögen. Ueberhaupt bleiben dem Vogel in der Wendung seiner Flügel, ihrer Ausbreitung und Verkürzung, dem Vorstrecken und Einziehen des Kopfes und Halses, der stärkern Bewegung des einen Flügels, der Stellung des Schwanzes u. s. w. eine Menge Mittel übrig, die er zum Steigen, Sinken, zum Fortschweben, zur Spiralbewegung anwenden kann, und welche der Berechnung zu unterwerfen, ein verwegenes Beginnen seyn dürfte.

Ohne die Arbeit von Fuss zu kennen, unternahm es im Jahr 1805 der durch ausgedehnte theoretische Kenntnisse, so wie durch praktischen Sinn ausgezeichnete Physiker, Jos. PRECHTL¹, eine Theorie des Fluges zu entwerfen. Der Weg, den er einschlug, scheint merklich einfacher und kürzer zu seyn, indem er das Problem in seinen Elementen auffafst, und den wichtigsten Theil der Frage, den Widerstand der Luft, beim Umschwung einer Fläche um eine Axe durch sorgfältige Versuche bestimmt.² Sodann mittelt er den Widerstandspunct des Flügels, je nach der Gestalt der angenommenen Fläche desselben, aus, und zeigt, wie die Geschwindigkeit und Steigkraft des Vogels von der Schnelligkeit des Flügelschlags und der Gröfse des Schlagwinkels abhängig sey, einige allgemeine Bemerkungen über das Fliegen, und besonders über die Luftbehälter der Vö-

¹ G. XIX. 376.

² Ebend. XXIII. 130.

gel begleiten diese Abhandlung¹, welche der Verf. selbst nur für einen Vorläufer einer von ihm versprochenen vollständigen Theorie des Fliegens erklärt. Da seine Versuche einen Hauptpunct dieser Theorie, den Widerstandscoefficienten betreffen, und zugleich durch sinnreiche Anordnung und aufmerksame Berücksichtigung fremder Einflüsse sich auszeichnen, so dürfte eine kurze Darstellung des angewandten Verfahrens hier nicht am unrechten Orte seyn.

Fig.

73.

Auf einer nahe 3 Zoll dicken horizontalen Walze AB ist ein leichter quadratischer Rahmen CDEF also befestigt, daß seine innere Kante EF genau in der Axe derselben liegt. Ihm hält die in I mit einer Bleikugel beschwerte hölzerne Stange GH in horizontaler Lage das Gegengewicht, und er wird auch durch eben diese Stange vermittelt einer Schraube bei G angezogen. Die Umschwingung desselben wird durch das Sinken eines Gewichtes zuwegegebracht, dessen Seidenschnur um die cylindrische Verlängerung AE der Walze gewickelt ist. Die Lagerstücke ihrer konischen Drehungszapfen waren solid am Geländer einer hohen Treppe befestigt, die einen Fall von mehr als 30 Fuß erlaubte. Damit beim Ablauen des Gewichtes die sich abwickelnde Schnur nicht durch ihre Schwere beschleunigend einwirke, wurde unterhalb der Schale, die das Gewicht trug, ein gleiches Stück von etwa 30 F. Länge angehängt, dessen Ende den Boden berührte, wenn die Schale sich oben an der Welle befand. So wie das Gewicht sank legte sich diese Schnur auf den Boden nieder, und man hatte also immer eine constante Größe für das Gewicht des Fadens zum Hauptgewicht zu addiren. In den Rahmen CDEF konnte ein Papier eingespannt werden, welches die Widerstandsfläche bildete. Bei den Versuchen mit dem *leeren* Rahmen wurde an diesem Letztern ein Gewicht befestigt, welches dem des Papieres gleich und mit dem Gegengewicht an GH abgeglichen war; auf die Dehnung der Schnur bei verschiedenen Belastungen wurde gleichfalls Rücksicht genommen. Die Höhe von 30 F. gestattete 41 Umdrehungen der Walze, bis das Gewicht auf den Boden kam: die Umdrehungen des Rahmens waren, wenn er bespannt war, bereits nach einigen Umläufen gleichförmig; beim leeren Rahmen aber etwas später. Es wurden daher nur

1 G. XXX. 302.

die 20 letzten in Rechnung gezogen. Die darauf verwandte Zeit wurde durch die Schwingungen eines einfachen Halbsecundenpendels bestimmt, welches am Ende der 21sten Umdrehung losgelassen wurde; das Aufschlagen des Gewichts auf den Boden gab das Ende der 41sten Umdrehung zu erkennen. Bei einer spätern Reihe von Versuchen, wurde die Loslassung des Pendels durch folgenden zweckmäßigen Mechanismus von der Hand des Beobachters unabhängig gemacht, was besonders bei schnelleren Umdrehungen von Wichtigkeit war.

Fig.
74.

In derjenigen Höhe, wo das Gewicht bei der zwanzigsten Umdrehung sich befand, wurde am Treppengeländer A ein Arm C angebracht, an dessen Ende m ein sehr leichter Hebel a b beweglich war, dessen kürzerer Arm m b schwerer war als der längere m a. Bei a berührte dieser den kleineren Hebel z x, der sich in dem Ende des Pfostens D in i ebenfalls mit möglichster Leichtigkeit drehte, und dessen kürzerer Arm z i ebenfalls das Uebergewicht hatte. Der Druck der seitwärts gehaltenen Pendelkugel hielt nun das leichtbewegliche, wohlabgeglichene Hebelwerk in der Lage, daß, sobald der Arm m b vom fallenden Gewichte berührt wurde, z im nämlichen Momente durchschlug und das Pendel seine Schwingungen begann, ohne später von dem niedergesunkenen Hebel z i aufgehalten zu werden.

Daß dieser Apparat auf die Senkung des Gewichts keinen Einfluß ausüben konnte, ergab sich aus der Berechnung der einzelnen Hebel und ihrer Ueberwuchten. Es war nämlich $m b = 13$; $m x = 25$; $i x = 10$ und $i z = 8,5$ Zolle; der Hebelarm m b hatte eine Ueberwucht von $\frac{1}{16}$; derjenige in i z von $\frac{1}{32}$ Loth. Die 2 Loth schwere Kugel des Pendels war um 6° von der Verticalen abgehalten. Der niederwärtsgehende Druck

in z fand sich nach der Formel $\frac{m b \cdot i x + \frac{1}{32}}{16 m x \cdot i z} = 0,0695$ Loth. Die

Reibung des Pendels am Hebel $= \frac{1}{2} 2 \sin 6^\circ = 0,0697$ Loth. Es blieb also in z nur eine Last von 0,0002 Loth zu überwinden übrig, welche in b selbst nur 0,0003 Loth ausmacht.

Um den Widerstand, welchen die Luft dem Umschwunge der Papierfläche entgensetzte, zu bestimmen, bediente sich PRECHTL folgender einfacher Methode: Nachdem man für ein gegebenes Gewicht P die Zeit t ausgemittelt hatte, welche für 20 Umdrehungen des bespannten Rahmens erforderlich war,

wurde das Papier herausgenommen, sein äquivalentes Gewicht in den Rahmen eingesetzt, und nun auf der entgegengesetzten Seite der Welle ein zweites Fallgewicht Q angebracht, dessen Faden mit demjenigen von P eigentlich eine Schnur ohne Ende bildete. Dieses wurde so lange abgeändert, bis der leere Rahmen genau in eben so viel Zeit seine letzten 20 Umläufe vollendete, als der Bespannte dazu gebraucht hatte. Das Gewicht Q war also genau dem Widerstande gleich, den die Luft der Papierfläche entgegensetzte; selbst sein Druck auf die Zapfen in verticaler Richtung war von demjenigen nicht verschieden, den der Widerstand auf die Papierfläche in stets ändernder Richtung ausübte. Ist nun K die Entfernung des Mittelpuncts des Widerstandes auf die Fläche von ihrer Axe; b der Halbmesser der Welle, so ist der Widerstand der Luft $R = \frac{6}{k} Q$.

In diesem Widerstandspuncte finden sich alle einzelne Widerstände, die auf die Fläche wirken, vereinigt. Er muß also in Beziehung auf die Drehungsaxe dasselbe statische Moment haben, als der Widerstand auf die ganze Fläche vertheilt. Da die Widerstände der Ausdehnung der Flächen, und den Quadraten der Geschwindigkeiten proportional sind, die letzteren aber sich, wie die Entfernungen von der Axe verhalten, so verhält sich der Widerstand eines jeden Punctes oder Elementes der Fläche, wie dieses Element und das Quadrat seiner Entfernung von der Axe; und in Beziehung auf sein statisches Moment, wie die dritte Potenz dieser Entfernung. Diese heiße x, und A bedeute den Flächenraum eines Rechtecks, K dessen Widerstandspunct, b seine Breite, so verhält sich das statische Moment des Widerstandes auf das Flächenelement, wie $b \, dx \cdot x^3$, und dasjenige des Widerstandes auf die ganze Fläche wie $K^3 A$. also $\int b \cdot dx \cdot x^3 = K^3 A$. Ist die Höhe des Rechtecks = m, so ist $A = b m$, daher $K^3 = \frac{x^4}{4m} + C$, wo die Constante = 0, da der Widerstand für $x = 0$ verschwindet. Für $x = m$, wenn der Widerstandspunct für das Rechteck von der Höhe m gelten soll, ist daher $K = \sqrt[3]{\frac{m^3}{4}} = m \sqrt[3]{\frac{1}{4}} = 0,62996 \cdot m$. Die innere Höhe des quadratischen Rahmens betrug 136,8 Lin., daraus wird $K = 86,184$ Lin. Der Halbmesser der Welle maß 16,506 Lin., ihre Länge 8 Zoll.

Setzt man $A = b(m - n)$, so wird $K' = \sqrt{\frac{m^4 - n^4}{4(m - n)}}$; und dieses ist der Widerstandspunct eines freischwingenden Rechtecks, dessen mit der Axe parallele äußere und innere Kanten um die Werthe m und n von derselben abstehen. Es verhalten sich ferner die Widerstände zweier Rechtecke von verschiedener Breite, welche um eine gemeinschaftliche Seite als Axe sich drehen, wie die dritten Potenzen ihrer Breiten; also wenn m den Abstand der entferntern, n denjenigen der nähern Kante von der Axe, R den Widerstand des erstern größern, r den des nähern Rechtecks bezeichnet, so ist $r : R = n^3 : m^3$ also $r = \frac{n^3}{m^3} R$; dieser Werth von R abgezogen, giebt den Widerstand der Luft auf das äußere freischwingende Rechteck $= r' = R \left(1 - \frac{n^3}{m^3}\right)$. Mit Hülfe dieser beiden Sätze wurden sowohl die Entfernungen der Widerstandspuncte a und b auf den mit der Axe parallelen und eben so c auf den in einen Stab vereinigt gedachten winkelrechten Kantenstücken des Rahmens, als auch die Größen dieser Widerstände o, p, q berechnet. Die Entfernung des gemeinsamen Widerstandspuncts von der Axe war dann

$$d = \frac{ao + bp + cq}{o + p + q} = 103,25 \text{ Lin.}$$

Es ergiebt sich hieraus eine Verbesserung von Q , so daß $Q' = Q + \left(1 - \frac{K}{d}\right) \alpha = Q + 0,16535 \alpha$. Die GröÙe α ist gleich dem Gewicht p , welches statt P angehängt werden müßte, um den leeren Rahmen mit eben der Geschwindigkeit zu bewegen, wie der Bespannte durch P bewegt wurde. Doch muß dieses p noch um eine aus den Versuchen zu bestimmende, durch die Schwungkraft zum Theil modificirte ReibungsgröÙe q vermindert werden, so daß $\alpha = p - q$. Heißen zwei auf einander folgende Zeiten t' und t'' ; p' und p'' die in gleicher Ordnung ihnen zugehörigen Gewichte; so ist $q = \frac{t'^2 p' - t''^2 p''}{t'^2 - t''^2}$; für $P = 6$ Loth ergab sich $q = 0,625$ Loth; für $P = 80$ Loth $= 0,684$ Loth, und hieraus folgte die Correction $0,16535 \cdot \alpha = 0,107$ Loth und $1,582$ Loth für diese beiden Fälle. Der wahre absolute Widerstand R findet sich

dann $= \frac{b'}{k} Q'$; wo k den Widerstandspunct der Papierfläche, b' den um die halbe Schnurdicke vergrößerten Radius der Welle bezeichnet. Ist nun der Inhalt der gebrauchten Fläche $= a$, das Gewicht eines Wiener Cubikfusses Luft bei 10° R. (der mittlern Temperatur während der Versuche), q ; (der Barometerstand in *Brünn* ist nicht angegeben); die der Geschwindigkeit des Widerstandspunctes zugehörige Höhe

h , wo $h = \frac{c^2}{4g}$; und der Coëfficient dieser Höhe $= x$, so ist $x = \frac{R}{h a q} = \frac{R}{c^2 \frac{a q}{4g}}$. Nun ist $a = 0,819$ Quadrat-Fufs;

$q = 2,228$ Loth, $g = 15,515$ Wiener Fufs; also $x = \frac{R}{0,0294 \cdot c^2}$

Die Geschwindigkeit c für 1 Secunde erhält man, wenn man den vom Widerstandspunct in 20 Umdrehungen durchlaufenen Raum durch die beobachtete Anzahl Secunden dividirt; also, wenn man die beobachteten halben Secunden $= t$ setzt, $c = \frac{4k \cdot 20 \cdot \pi}{t} = \frac{150,4096}{t}$.

PRECHTL hat mit seinem Apparate zwei Reihen von Versuchen angestellt, (jeden zu 20 Umdrehungen) deren Data hier folgen:

Erste Reihe.

P in Lothen.	Zeit in $\frac{1}{2}$ Sec.	Werthe in Lothen.		Geschw. c in W. Fufs.	R in Lothen.	Höhen-coëff.
		Q	Q'			
6	53,1	4,500	4,607	2,838	0,888	3,751
10	40,2	8,000	8,167	3,741	1,575	3,826
15	32,6	12,281	12,610	4,614	2,432	3,884
20	28,3	16,625	16,894	5,314	3,253	3,922
25	25,2	20,750	21,296	5,968	4,107	3,920
30	23,1	24,470	25,139	6,511	4,846	3,887
35	21,5	28,280	28,815	6,995	5,557	3,861
40	20,1	32,080	32,945	7,483	6,353	3,853
45	19,1	36,081	37,039	7,874	7,143	3,917
					Mittel =	3,869.

Zweite Reihe.

50	17,17	42,281	43,561	8,762	8,441	3,789
55	16,83	46,281	47,659	9,216	9,235	3,697
60	15,75	50,750	52,121	9,555	10,100	3,761
65	15,00	55,000	56,311	10,027	10,912	3,690
70	14,50	59,000	60,485	10,373	11,721	3,704
75	14,00	63,250	64,401	10,743	12,479	3,677
80	13,50	67,438	69,019	11,141	13,374	3,666
					Mittel =	3,712.

Die beiden Mittel differiren um 0,157; bei der erstern Reihe war ein Seidenfaden von 0,1143 Lin. Halbmesser, bei der zweiten eine häfnene Schnur gebraucht worden, deren halbe Dicke 0,1946 Lin. betrug. Bei der letztern sind auch die Geschwindigkeiten stärker, und die Zeitbestimmung des verbesserten Apparates wegen genauer. Der mittlere Höhengcoefficient mag auf 3,79 angenommen werden. Die beträchtliche Abweichung dieses Höhengcoefficienten von den freilich weit ungenauern Bestimmungen HUTTON's¹ und SCHÖBER's², die ihn nur auf $1\frac{1}{2}$ setzen, erheischt eine ausführlichere Darstellung der dabei gebrauchten Methode.

Die Anwendung dieser Versuche zur Erklärung des Fluges ist nach PRECHTL kürzlich folgende: Man bestimme zuerst die Gestalt der Flügelfläche, die bei den Vögeln je nach ihrer Bestimmung verschieden ist. PRECHTL stellt drei Classen auf. In die *erste* setzt er diejenigen Thiere, deren Flügel aus einer zwischen ihren Flügelrippen ausgespannten Haut bestehen. Dahin rechnet er die Fledermäuse, die Schmetterlinge, überhaupt alle fliegenden Insecten. Zur *zweiten* rechnet er die große Zahl der Vögel, bei welchen der erste Flügelknochen größer ist, als der zweite, z. B. die Hühner und Tauben. Zur *dritten* und obersten Classe gehören endlich die Vögel, bei denen der zweite Flügelknochen den ersten an Größe übertrifft. In diese gehören die *Raubvögel*. Führt man Linien durch die Punkte des Flügels, welche den Widerstand begrenzen, so erhält man nahe die Figur ABCDE in welcher das Rechteck ABCD der *Fächer* CDE die *Schwinge* ist. Wenn nun diese Fläche sich um die Axe AB dreht, so gehört der erzeugte Widerstand der Geschwindigkeit zu, mit welcher sich der Widerstandspunct K des Flügels bewegt.

Fig.
75.

Nach Obigem ist für das Rechteck ABCD die gesuchte Entfernung $K = BD \sqrt[3]{\frac{1}{4}}$. Man setze $BE = B$; $BD = b$, und mache in der oben gegebenen Integralgleichung

$$\int y dx \cdot x^3 = K^3 A, \text{ die Größe } A = y. \text{ Nun ist } y = \frac{a}{B-b} (B-x),$$

$$\text{und } A = \frac{a(B-b)}{2}. \text{ Hieraus wird } K^3 = \frac{2}{(B-b)^2} \left(\frac{Bx^4}{4} - \frac{x^5}{5} \right) \frac{1}{4} C;$$

1 Gren's Journ. d. Phys. VII. 283.

2 Karsten Lehrb. der Mathem. VI. 627. und Hamb. Magaz. IX.

wo $C = -\frac{2}{(B-b)^2} \cdot \left(\frac{Bb^4}{4} - \frac{b^5}{5} \right)$, mithin die Entfernung des Widerstandspunctes K' von der Axe auf der Schwinge

$$CDE = K' = \int \frac{B^5 - 5Bb^4 + 4b^5}{10 \cdot (B-b)^2}. \text{ Bezeichnet ferner } R \text{ den}$$

Widerstand auf das Rechteck, r denjenigen auf das Dreieck, so ist $R : r = \frac{b^3}{B^3} : \frac{1}{4} \left(1 - \frac{b^3}{B^3} \right)$, oder $r = \frac{1}{4} \left(\frac{B^3}{b^3} - 1 \right)$, wenn

$R=1$ gesetzt wird. Aus der Entfernung der Widerstandspuncte in beiden Flächen und dem Verhältniß ihrer Widerstände findet sich die Entfernung des gemeinsamen Widerstandspunctes im Flügel $d = \frac{K' r + k}{r + 1}$.

Es sey nun c die Geschwindigkeit, bei welcher der Widerstand, den ein freifallender Körper in der Luft erleidet, seinem eigenen Gewichte P gleich ist, w die Oberfläche desselben, die den Widerstand leidet; p das Gewicht von einem Cubikfuß

Luft, so ist $P = \frac{c^2}{4g} \cdot 3,8 p \cdot w$, wobei c von der Größe und

Schnelligkeit des Flügelschlags abhängt. Der Rückschlag oder Aufschlag des Flügels ist mit dem Niederschlage so ziemlich von gleicher Dauer; denn wenn auch der Rückenmuskel, welcher den Flügel heraufzieht, den Brustmuskeln an Stärke nachsteht, so wird hingegen auch der Widerstand der Luft durch die Lage und Gestalt der Federn, und besonders durch das mit dem Niederschlage bewirkte Vacuum über dem Flügel¹ bedeutend vermindert. Setzen wir also den Raum, welchen der Widerstandspunct des Flügels bei jedem Niederschlage durchläuft = S , und die Zahl dieser Schläge in 1. Sec. = n ; so ist $c = 2ns$. Dieser Raum wird durch den Winkel bestimmt, welchen die Richtungen des Flügels am Anfange und am Ende eines Schlages einschließen, und den man den

Schlagwinkel nennen kann. Heißt dieser m , so ist $s = \frac{2\pi \cdot d}{360} \cdot m$,

also $c = \frac{4n\pi d}{360} \cdot m$ und $P = \frac{3,8 \cdot p \cdot w}{4g} \left(\frac{4n\pi d}{360} \right)^2 m^2$. Die

Größen w , n , d und m sind sowohl bei verschiedenen Vögeln,

¹ Nach der obigen Bemerkung von Fuss.

als auch bei dem nämlichen Vogel, je nach seiner Willkür, merklichen Aenderungen unterworfen. Das Ausspannen und Einziehen der Flügel, ihre Steifung, besonders die Frequenz der Schläge, und die Ausdehnung des Schlagwinkels, machen in Verbindung mit noch andern weniger beachteten Hilfsmitteln die bewundernswürdige Kunst des Fliegers aus, mit welcher der Vogel die schnellsten, mannigfachsten und sichersten Bewegungen in beliebigem Mafse ohne Anstrengung zu vollführen scheint.

Wendet man die gegebene Formel auf SILBERSCHLAG's Adler an, bei welchem $w = 8$ Quadratfuß; $p = 0,078$ Pf. Berl. Gewicht, $n = 3$ ist, und setzt $d = 1,65$ Fuß; $m = 85^\circ$, so wird $P = 8,069$ Pf. Da der Vogel 8 Pf. wog, so behielt er also bei diesem Flügelschlage 0,069 Pf. Steigekraft; bei der Belastung mit der Kugel hätte dieses einen Schlagwinkel von $103^\circ,6$ erfordert. Die Geschwindigkeit ist für den erstern Fall $14\frac{2}{3}$; im letztern 17,7 Fuß in der Secunde. Zieht man hier die beständigen Gröfsen zusammen, so wird $P = 0,0000066 \cdot w \cdot d^2 \cdot n^2 \cdot m^2$; (für alt franz. Mafs und Gewicht). Der Werth der Widerstandscoefficienten ist hierbei von geringem Einflusse; eben so auch die Oberfläche des Flügels, wie wir das bei schlechten Fliegern sehen, deren Flügel zwar breit, aber kurz und abgerundet sind. Weit wichtiger ist die Entfernung des Widerstandspunctes, der auch eben bei den schnellsten Fliegern, den Schwalben und bei den Seevögeln, und Raubvögeln der gestreckten Gestalt ihrer schmalen Flügel wegen, weit hinausgerückt ist. Eben so kräftig wirkt die Schnelligkeit der Flügelschläge, und besonders auch die Weite des Schlagwinkels. Leider sind die beiden letztern Gröfsen ziemlich schwer zu bestimmen; doch darf man n wohl zwischen 2 und 20 und m zwischen 20° und 150° , für gewöhnlich etwa 90 Grade annehmen. Zuweilen überschreitet m noch das angenommene Maximum, wie man dieses beim Fluge der Tauben aus dem hörbaren Zusammenschlagen der Flügel abnehmen kann. Bei den schwachen Fliegern, den Sperlingen, Colibris, den Käfern ist n oft bedeutend, und scheint mit der Gröfse und Länge der Flügel, vielleicht auch mit der Muskelkraft des Vogels, im umgekehrten Verhältnisse zu stehen.

Wenn nun auch die hier aufgestellten Theorien die Möglichkeit des Aufsteigens durch den Flügelschlag aufser Zweifel

setzen, so bleibt von da bis zur vollständigen Erklärung des Fluges, noch ein großer Schritt zu machen übrig. Namentlich sollte noch deutlicher nachgewiesen werden, wie das verticale Niederschlagen der Flügel den Vogel mit so großer Schnelligkeit vorwärts schiebe, ob BORELLI's oben angeregte Erklärung, daß dieses durch die Umbiegung der Federspitzen geschehe, dazu genügend sey. Bei den Fischen sind die Flossen größtentheils vertical, auch die Fläche des Hinterleibes, dessen schlängelnde Schwingungen und Biegungen so bedeutenden Antheil an der Fortbewegung haben, und eben so die Schwanzflossen sind (die Buttische ausgenommen,) meist nach der Verticalfläche ausgedehnt, und ihre Kraftäusserungen gehen nach horizontaler Richtung. Allein bei den Vögeln sind diese, so viel bei einem so flüchtigen Gegenstande wenigstens der Ansehen lehrt, nicht nach der Längsaxe des Körpers gerichtet, sondern senkrecht auf dieselbe. Nur, wenn der Vogel seinen Lauf plötzlich aufhalten will, um irgendwo abzusetzen, stellt er sich aufrecht, und verwandelt den verticalen Flügelschlag in eine seitwärtsgehende Bewegung. Gemeinlich ist die Richtung des Körpers mit derjenigen des Fluges übereinstimmend. Da nun der Vogel beim Aufsteigen, das niemals in senkrechter, sondern in einer gegen den Horizont mehr oder weniger geneigten Richtung statt findet, selbst in schräger Richtung sich hält, so muß er entweder fähig seyn, seine Flügel etwas rückwärts drehen und ihre Ebene in horizontale Lage bringen zu können; oder man müßte voraussetzen, daß seine Erhebung durch den aufwärts gehenden Druck der an der umgebogenen Flügelkante ausweichenden, durch einen schrägen Flügelschlag comprimirt Luft bewirkt werde. Vielleicht findet beides statt, und so mag der Vogel auch seine horizontale Fortbewegung theils dem von BORELLI angegebenen Grunde, (der vielleicht nicht so unwirksam seyn dürfte, weil er beim Auf- und Niederschlagen eintritt) theils auch einer obwohl sehr geringen Drehung der Flügelebene zu danken haben.

Bemerkenswerth ist auch die Fähigkeit einiger der größern Flieger, eine geraume Zeit mit ausgespannten Flügeln, ohne sichtbare Flügelschläge, dahin zu *schweben*. Es ist ihnen dazu nicht nur die erworbene Geschwindigkeit, sondern besonders auch die beträchtliche Ausdehnung ihrer Flügel behülflich, die ihnen als *Fallschirm* dienen. Den Schwalben ist das Planiren nur

bei einer beträchtlichen Geschwindigkeit und nicht auf gar lange Zeit ohne erneuerte Schläge möglich, während dem die großen Albatros (*Diomedea exulans*) auf dem Meere dicht über der Wasserfläche, jeder Seitenfläche der Welle sich anpassend, dahin schweben, ohne daß man bei ihnen eine andere Bewegung, als ein langsames Wiegen des ganzen Körpers wahrnehmen könnte. Der *Moosweih* und der *Milan*, wenn sie irgendwo nach Beute sich umsehen wollen, bewegen sich auf eben diese Weise stundenlang ohne Flügelschlag in großen Spiralen umher, die sie allmählig der Erde zuführen. Daß bei einmal gegebener Wurfgeschwindigkeit des Vogels der Widerstand der Luft auf die ausgebreiteten Flügel seinen Körper genugsam unterstütze, beweiset unter Anderen die geschickte Art, wie der Habicht auf dem Wasser seine Beute erhascht. Er stürzt von einer mässigen Höhe in einer schönen Curve, deren nach der Erde hin convexer Scheitel nur ein Paar Zolle von der Wasserfläche absteht, hinunter, hauet mit der Klaue ins Wasser, und steigt nun, ohne einen Flügel zu bewegen, durch die bloße Erhebung der Axe seines Körpers im andern Zweige der Curve bis zu einer ziemlichen Höhe wieder an. Daß den Vögeln beim Schweben auch der entgegenströmende Wind sehr zu statten komme, ist leicht zu begreifen; sogar dient er ihnen zu zuweilen, um ohne Flügelschlag in Schraubengängen aufzusteigen.

Man hat auch den *Schwanz* des Vogels für ein wesentliches Werkzeug des Fluges gehalten, allein der Umstand, daß Vögel, die durch Zufall oder Absicht derselben beraubt worden sind, dennoch gut fliegen, zeigt, daß er wenigstens nicht unentbehrlich sey. Zum Wenden dient er nicht, da er nicht in horizontaler Richtung sich bewegen kann. Der Vogel verrichtet dieses durch Bewegung des Halses, ungleichen Flügelschlag, am meisten durch Neigung der durch die Flügel gehenden Queraxe seines Körpers; den Schwanz breitet er vorzüglich dann aus, wenn er entweder den Fall nach der Erde mässigen, oder bei fast aufrechter Erhebung des Körpers seinen Flug plötzlich aufhalten will. Auch dient er ihm im Fluge zu allmählicher Hebung und Senkung, wie man dieses an dem schlangenförmigen Fluge der Bachstelze bemerken kann¹.

1 Zieht man die Bauchmuskeln des Vogels durch ein um den

Die *Höhe*, in welcher die Vögel fliegen, ist je nach ihrer Art, und dem Zweck des Fluges sehr verschieden. SILBERSCHLAG¹ sah ein Paar Adler über eine Wolke wegfliegen, deren Höhe er auf 3000 Fufs schätzte: die Züge der Strichvögel z. B. der Kraniche gehen oft hoch über den Brocken (gegen 4000 Fufs Höhe) hinweg. Noch merkwürdiger ist ihre *Schnelligkeit*. Raubvögel sollen, 6 deutsche Meilen in einer Stunde machen; und König HEINRICH II. in Frankreich soll einen Falken gehabt haben, der, in Fontainebleau entwischt, in 24 Stunden in Maltha soll gefunden worden seyn, was 19 Lieues für die Stunde gäbe². Von den Schwalben wird behauptet, daß sie ihren Zug über das Mittelländische Meer in 8 Tagen vollführen.

Eine besondere Eigenthümlichkeit im Baue der Vögel sind die *Luftbehälter* derselben. Die Lunge des Vogels ist am Rücken angewachsen, und steht mit den im Unterleibe befindlichen Luftbälgen in Verbindung, wäre der Vogel genöthigt, wie die Säugthiere, immer durch Nase und Mund zu athmen, so würde ihn beim schnellen Fluge die entgegenströmende Luft bald ersticken. Die Anfüllung des Körpers mit Luft scheint den gewöhnlichen Athmungsproceß in diesem Fall zu ersetzen, und dient überdem, den Muskeln festere Stützpunkte zu geben³. Namentlich mag diese Vermehrung der Steifigkeit durch die starke Verdichtung der Luft in den Röhren der Knochen bewirkt werden. Schon CAMPER hat bemerkt, daß die Knochen der Vögel mit comprimierter Luft erfüllt waren, und BLOCH zeigte durch den Versuch, daß die Luft in den Knochen des ersten Flügelgliedes durch eine Oeffnung am Wirbel eintrat, und daß bei Einblasung der Luft die Flügel sich ausdehnten. Als man den Knochen zerbrach, fuhr die Luft mit einer solchen Gewalt aus demselben heraus, daß sie ein Licht ausblies⁴. Daß die Vögel auch in verdünnter Luft ohne Schwierigkeit

Hintertheil des Thorax geschlungenes Band so zusammen, daß sie in ihren Bewegungen gehemmt sind, so kann der Vogel nicht fliegen. Beob. von Lorry. S. d. unten angeführte Mém. du Mus. VI. 447.

1 a. a. O. S. 259. 267.

2 Prechtl in G. XXX. 318.

3 Nach BLAINVILLE hat die Fledermaus eben so ausgedehnte Lungen wie die Vögel.

4 SILBERSCHLAG a. a. O. S. 219.

fliegen, beweist der Versuch BIOT's und GAY-LÜSSAC's bei ihrer Luftfahrt am 24. Aug. 1804. Zwei Vögel, ein Grünfink (Verdier) und eine Taube, die sie in einer Höhe von 10500 F. in Freiheit setzten, schienen ohne Mühe zu fliegen, senkten sich aber dann doch sogleich in einer steilen Spirale zur heimatlichen Erde nieder¹. Dagegen fliegen die Adler und Geyer ohne Mühe in noch größern Höhen.

Ueber den Flug der Insecten hat CHABRIER² eine weitläufige Abhandlung als Auszug einer noch größern Arbeit geliefert. Ihr Flug unterscheidet sich hauptsächlich in zwei Arten; den *schwirrenden* Flug, und den *flatternden* Flug, der zuweilen auch in den *schwebenden* übergeht. Der erstere findet bei den Käfern, Bienen, und Fliegen statt; der letztere bei den Schmetterlingen, von denen diejenigen, die mit größern und längern Flügeln versehen sind, auch wohl auf kurze Zeit einen schwebenden Flug annehmen. Die Flügel der Insecten bilden eine zusammenhängende, mit Rippen und Aesten durchzogene, Haut, die bei den Käfern, Libellen und den Zweiflüglern durchsichtig, bei den Schmetterlingen mit kleinen bunten Schuppen oder Ziegeln, als einem feinen Staube bedeckt ist. Einige, wie die Käferarten, falten diese Flügel zusammen, um sie unter eine feste hornartige Decke zu verbergen, die jedoch zum Fliegen selbst wenig beizutragen scheint, sondern vielleicht als Fallschirm dienen mag; bei andern, z. B. den Tag-schmetterlingen und den Libellen bleiben sie immer ausgespannt, und werden im ruhenden Zustande des Insects auf dem Rücken in verticaler Lage an einander gelegt. Fast alle fliegenden Insecten haben *vier* Flügel, von denen jedoch die vordern bei weitem die Hauptwerkzeuge des Fluges zu seyn scheinen; nur die Zweiflügler sind davon ausgenommen, bei welchen an der Stelle der Hinterflügel ein Paar Kölbchen sogenannte *Balancirstangen* (halteres) sich befinden, deren Zweck noch nicht ausgemittelt ist. Auch bei den Insecten, wie bei den Vögeln spielt die *eingeschlossene Luft* eine wichtige Rolle; und wohl möchte sie bei diesen noch mehr, als bei den Vögeln nothwendig seyn, um dem größtentheils weichen Körperbau die zur Anstrengung

1 G. XX. 14.

2 Mém. du Mus. d'Hist. nat. VI. 410 — 475, VII. 297 — 372, VIII. 47 — 110.

der Muskeln nöthige Consistenz zu geben. Ihre Brust ist elastisch, bei einigen mit sehr kleinen Klappen versehen¹, die sie nach Belieben öffnen und schliessen können; indem das Thier zum Fluge sich rüstet, sieht man den Leib derselben sich aufblähen. Das *Summen* vieler Insecten während des Flugs schreibt CHABRIER besondern Organen zu, die als kleine Punkte am Thorax wahrzunehmen sind; und von denen einige als Oeffnungen in einer convexen Membrane erscheinen und mit freischwingenden Schuppen versehen sind². Diejenigen, welche dieses Geräusch ausschließlich von der Schwingung der Flügel herleiten wollen, stützen sich auf die Behauptung, daß der Ton allmählig abnehme, so wie man die Flügel verkürze. Allein, nicht zu rechnen, daß durch eine solche Operation die Lebhaftigkeit der Flügelschläge und der damit gleichzeitigen Luftausströmungen geschwächt wird, daß vielleicht ein Theil jener Luft durch die geöffneten Gefäße der Flügel selbst entweicht, so stehen diesem Versuch folgende zwei bestimmte Erfahrungen entgegen: Wenn man die Flügel einer blauen Schmeisfliege mit Wachs zusammen klebt, so dauert das Gesumme fort; löst man hingegen die erwähnten Schalldeckel vorsichtig ab, so fliegt das Insect dennoch, aber ohne Geräusch: Man sieht dann während der Flügelbewegung die darunter liegende Membrane sich weit öffnen. Bei den Maikäfern ist dieses Stimmorgan sichtbar zwischen den beiden Flügelsectoren nahe am Gelenke derselben angebracht. Uebrigens ist es sehr wohl möglich, daß bei einigen Insecten das Summen wirklich vom schnellen Flügelschlage entstehe, da wir auch bei den Vögeln ein Geräusch solcher Art wahrnehmen, daß bei den kleinern Vögeln z. B. den Sperlingen als ein schwirrender, bei größern z. B. den Tauben und Möwen als ein pfeifender Ton sich äußert; noch lauter ist das Sausen oder Rauschen der Raubvögel und der Schwäne; die Eule hingegen, die zu ihren nächtlichen Räubzügen eines leisen Flugs bedarf, hat die Enden ihrer Flügelfedern mit einem feinen Brem besetzt³, der jenes Geräusch aufhebt.

Einige Schriftsteller, z. B. SILBERSCHLAG⁴ und Hu-

1 Chabrier a. a. O. VI. 447.

2 Ebend. VI. 454.

3 Bemerk. von Silberschlag a. a. O. 232.

4 a. a. O.

BER¹ haben es versucht, die Classen der Vögel nach der Gestalt ihrer Flügel einzuthellen; der letztere beschränkt sich hierbei auf die Raubvögel, die er in *Rudever* und *Segler* (*rameurs et voiliers*) unterscheidet. Für verschiedene lehrreiche Bemerkungen über diese Thiergattung verweisen wir auf diese Verfasser selbst; uns genügt hier, das, was über die Theorie des Fluges bisher versucht worden ist, beigebracht, und vielleicht die Aufmerksamkeit der Physiker auf diese etwas vergessene Aufgabe gelenkt zu haben.

H.

F l i n t g l a s .

Eine Glasart, die ihren englischen Namen *Flintglas* von Flint, Feuerstein, hat, und die in der praktischen Optik dadurch merkwürdig geworden ist, daß sie, als stärker Farben zerstreud, sich vorzüglich brauchbar zu den Concavlin sen der zusammengesetzten achromatischen Objective zeigte. Diese Linsen werden nämlich aus einer concaven, das Licht stark zerstreudenden Linse von Flintglas, und aus einer oder zwei convexen Linsen aus einer andern weniger stark zerstreudenden Glasart, gewöhnlich aus englischem Kronglase *Crown glas*, verfertigt². DOLLOND, der zuerst die Brauchbarkeit des Flintglases zu diesem Zwecke erkannte, gab als mittleres Brechungsverhältniß 1,583 zu 1, für dasselbe an, also nicht sehr verschieden von dem für Kronglas geltenden; aber die Zerstreudung der Farben ist ungemein viel stärker. Nach einer von KÖRNER mitgetheilten³ Nachricht, die sich auf RAMSDEN'S Erzählung gründet, war das vortreffliche Glas, dessen sich DOLLOND zu seinen berühmten, und noch jetzt so geschätzten Fernröhren bediente, nicht von dem gewöhnlichen, unter dem Namen Flintglas bekannten, weissen Krystallglase, sondern er hatte sich jenes Glas von einer Glashütte im Norden Englands verschafft, wo ein Block von Flintglas vorhanden war, der durch Auslaufen aus dem Risse eines Tiegels entstanden war, und Jahre lang in der Gluth gelegen hatte, indem man ihn erst beim

¹ HUBER Observations sur le vol des oiseaux de proie. av. Fig. Genève. 1784. 4.

² Vergl. Art. *Fernrohr*.

³ Kastner's Archiv. VII. 250.

Einreißen des Ofens auffand¹. Aus diesem Umstande ist es denn auch erklärlich, warum man nachher selbst in England, wo doch noch immer Flintglas verfertigt wurde und verfertigt wird, es so schwer fand, gute brauchbare Stücke zu finden, indem hiernach jene vorzüglich guten Stücke aus einer ganz anders behandelten Masse hervorgegangen waren. Die Schwierigkeit, brauchbare Gläser zu Fernröhren zu liefern, besteht nämlich nicht so sehr darin, das man eine das Licht stark zerstreuernde Mischung finde, sondern in der, gerade bei dieser Glasart am meisten schwierigen Darstellung einer durchaus gleichartigen Masse; denn die geringste Ungleichartigkeit wird beim Gebrauche im Fernrohr durch ein streifiges Ansehen der Gegenstände merklich, indem die ungleiche Mischung eine nicht in allen Theilen der Masse gleiche Brechung der Lichtstrahlen hervorbringt.

Die mannigfaltigen Bemühungen, diese Glasart nachzumachen, sind lange Zeit ohne genügenden Erfolg geblieben. ZEINER stützte seine Versuche auf die Entdeckung, daß jene Glasart viel Bleikalk enthalte, und daß diese Beimischung von Blei die Farbenzerstreuung in ungemeinem Maße vermehre, während man durch stärkern Zusatz von Alkalien die mittlere Brechung vermindern könne; aber brauchbare Gläser scheint er gleichwohl nicht erhalten zu haben².

In Frankreich erhielt 1773 LÉBAUDE einen Preis wegen guten Flintglases, und ALLAT verfertigte auf BÜFFON'S Vorschlag Flintglas; aber nach KÖRNER'S Bemerkung sind die von ihnen angegebenen Verhältnisse der Bestandtheile nicht gerade tauglich, um vollkommenes Flintglas zu erhalten, und man war auch in Frankreich selbst nicht damit zufrieden, sondern setzte einen neuen Preis auf die Darstellung vollkommern Flintglases. DÜFOUGERAI'S, dessen Flintglas KÖRNER gerade zu schlecht nennt, erhielt von der Pariser Akademie ein sehr vortheilhaftes Zeugniß über sein Flintglas; indess ward es doch nur zu sehr kleinen Objectiven angewandt³. Glücklicher ist D'ARTIGUES gewesen, der nicht so sehr dahin strebte, ein

1 ROCHON'S Nachricht, daß Holles schon vor Dollond das Flintglas zu Fernröhren angewandt habe, scheint doch etwas zweifelhaft, da diese Fernröhre nirgend bekannt geworden sind. G. IV. 302.

2 Mém. de l'acad. de Berlin pour 1766 p. 150.

3 G. XXXIV. 250.

recht schweres Glas zu erhalten, sondern bei etwas minderer Farbenzerstreuung ein von ungleichen Streifen freieres Glas erhielt. Sein Flintglas war etwa 3,2 mal so schwer als Wasser; das beste erhielt er aus der Mitte des Tiegels, wo ein Klumpen herausgenommen, geblasen und auf die gewöhnliche Weise gestreckt wurde. BROT giebt in seinem Berichte darüber die Brechung im Verhältniß zu der des franz. Kronglases wie 157 zu 151 an, das Verhältniß der Zerstreung wie 160 zu 100. Aus diesem Glase wurden gröfsere Objective verfertigt, die den Werth dieser Glasart wirklich zu beglaubigen scheinen¹. Obgleich aber die von CAUCHOIX aus diesem Glase verfertigten Fernröhre ausgezeichnet gut gewesen seyn sollen, so hat man doch nicht gehört, dafs ähnliche aus diesem Glase verfertigten Fernröhre recht in Umlauf gekommen wären und sich vorzüglich beliebt gemacht hätten. Dieses ist dagegen in hohem Grade der Fall gewesen mit FRAUNHOFER'S Fernröhren, zu denen dieser seit 1811 beide Glasarten selbst bereitete. Sein Verfahren dabei ist noch unbekannt, aber bekannt genug ist, dafs seine bis zu 9 Zoll Oeffnung verfertigten Objective unvergleichlich viel mehr leisten, als je vor ihm geleistet ist, und dafs er selbst 12zöllige zu liefern im Begriff war, als der Tod ihn zu früh den Wissenschaften entrifs.

FRAUNHOFER hat die Art, wie er sich von der Güte seines Glases überzeuge, bekannt gemacht, und bemerkt, dafs die Entdeckung der feinen Linien im Farbenbilde² ihn erst vollkommen belehrt habe, dafs gewöhnlich die Brechung noch verschieden sey, selbst wenn man mehrere Stücke aus derselben Glasscheibe nehme. Hierdurch belehrt stellte FRAUNHOFER so lange wiederholte Versuche an, bis es ihm gelang, eine solche Gleichförmigkeit der Masse zu erhalten, dafs aus einem Hafen mit 400 Pfund Flintglas, selbst zwei Stücke, deren eins vom Boden, das andere von der Oberfläche genommen ist, vollkommen gleiches Brechungsvermögen haben³.

FRAUNHOFER giebt die Brechungsverhältnisse für verschiedene Punkte des Farbenspectrums auf folgende Weise an.

1 G. XXXVII. 365.

2 Vgl. Art. *Farbe*.

3 FRAUNHOFER über Bestimmung des Brechungsvermögens verschiedener Glasarten. S. 27. auch G. LVI. 307.

Die von ihm bemerkten Linien im Farbenspectrum gaben ihm ein Mittel ganz genau denselben Punct bei mehrern Versuchen zum Gegenstande seiner Beobachtung zu wählen und so waren B eine Linie im Roth, C eine zwischen Roth und Orange, D eine zwischen Orange und Gelb, E im Grün, F im Blau, G gegen den Uebergang des Indigblau in Violett hin, H im Violett schon ziemlich gegen die Grenzen des Bildes. Hier war nun bei einem mit No. 13. bezeichneten Flintglase und bei einem mit No. 9. bezeichneten Kronglase das Brechungsverhältniß

für den Strahl B	{	1,62775
		1,52583;
für - - C	{	1,62968
		1,52685;
für - - D	{	1,63504
		1,52959;
für - - E	{	1,64202
		1,53300;
für - - F	{	1,64826
		1,53605;
für - - G	{	1,66028
		1,54166;
für - - H	{	1,67106
		1,54657.

Das Verhältniß der Farbenzerstreuung im ersten Theile des Bildes ist demnach 1 zu 1,9, im letzten Theile 1 zu 2,2. Die Bestandtheile seines Flintglases und die Kunst der Bearbeitung hat FRAUNHOFER geheim gehalten; KÖRNER hat die Bestandtheile zwar untersucht, aber sie aus Rücksicht auf die Wünsche des Erfinders nicht bekannt gemacht.

KÖRNER selbst ist nun endlich noch als ein Künstler zu nennen, der mit vollkommen gutem Erfolge Flintglasverfertigt, und sich durch Bemerkungen über das Verfahren bei der Verfertigung ein eigenthümliches Verdienst erworben hat ¹. Er fand das specifische Gewicht des englischen Flintglases erster Sorte = 3,373, zweiter Sorte = 3,4416; des Glases von d'ARTIGUES = 3,1576; des Glases von FRAUNHOFER = 3,7786; des Glases von KÖRNER's eigener Arbeit = 3,341. Er verfertigt dieses aus 100 Theilen eines vorher mit Salzsäure behandelten

¹ Kastner's Archiv VII, 233.

Quarzes, 80 Theilen Mennig und 30 Th. Weinstein Salz. Sein Glas war in so großer Hitze bereitet, daß der Ofen zu schmelzen anfang; es war völlig wasserhell und klar, ohne alle Streifen. KÖRNER bemerkt, daß es zum Darstellen eines guten Krystallglases eines hellen, nicht rauchenden Feuers bedürfe, und daß man daher Holz anwenden müsse. Die Engländer schmelzen es bei Steinkohlenfeuer in fast ganz geschlossenen Gefäßen, aber da alsdann die Hitze nicht groß genug ist, so kommt die Masse nicht zu hinreichend genauer Mischung und darin liegt schon ein Grund der Streifen in den Gläsern. D'ARTIGUES vermied diesen Nachtheil, indem er Holz als Brennmaterial anwandte, und bei offenem Hafen die Oberfläche des Hafens der Flamme aussetzte; dadurch wird der dünnere Fluß des Glases bewirkt und ein vollkommenes Glas geliefert. KÖRNER bemerkt auch, daß das Umschmelzen eines nicht von Streifen freien Glases nicht zu empfehlen sey, weil es doch wieder auf die starke Hitze ankomme, und bei dieser sich im Umschmelzen leicht Blasen erzeugen. Daß auch die Art, wie die Tafeln geblasen werden, zu Streifen Veranlassung gebe, läßt sich wohl einsehen. Wenn nämlich der ungeschickte Arbeiter die Pfeife eintaucht, sie dann um ihre Ase dreht, damit sich mehr Glasmasse anhängt, so verbindet sich der äußere, immer schon etwas abgekühlte Theil der Masse nie ganz vollkommen mit der neu aufgewickelten, und man erkennt die Windungen an den sich in der Glasmasse zeigenden Streifen; bei dem wiederholten Eintauchen, um die Masse durch Blasen weiter zu Tafeln auszubilden, wird der Nachtheil, den die ungleichen Lagen hervorbringen, noch verstärkt. Bei mehr Geschicklichkeit des Arbeiters werden die Lagen mehr Parallelität erlangen, und die Nachtheile vermindert. Die Streifen sind auch dann unvermeidlich, wenn die Masse nicht ganz lauter geschmolzen ist, und noch feine Bläschen vorhanden sind, diese mögen nun von Kohlensäure oder von in Dampf aufgelösten Salzen herrühren; und selbst wenn die Bläschen ausgetrieben sind, so erfordert es (nach KÖRNER) noch einige Zeit, bis die, ungleiche Brechung zeigenden, Streifen, die gleich Schwänzen den Bläschen anhängen, sich ganz verloren haben.

Aus KÖRNER'S handschriftlicher Mittheilung füge ich noch folgendes hinzu. Es ist diesem Künstler durch Unterstützung des Großherzogs und wiederholte mit ausdauerndem Fleiße

ausgeführten Versuche geglückt, ein vollkommen gutes Flintglas besser als das englische und französische zu erhalten, welches vielleicht nur durch das Fraunhofer'sche übertroffen werden könnte ¹. Er hat es in Quantitäten von 400 Pfunden dargestellt. Er fand den Brechungsexponenten für die mittlern

Strahlen im Kronglase = 1,5190611

in der einen Sorte Flintglas = 1,6112927

in der zweiten Sorte Flintglas = 1,634888.

Zerstreuungsmaß oder $\frac{dm'}{dm}$ mit der ersten

= 1,879886

mit der zweiten = 2,147241.

Er berichtet ferner, daß die nach eigener Berechnung angeordneten Fernrohre (wobei die unvermeidlichen praktischen Fehler berichtigt werden) sehr gute Wirkung thun. Eine Probe dieses Glases, welches der Verfertiger mir zur Ansicht mitgetheilt hat, ist in der That, dem äußern Ansehen nach, sehr vorzüglich; es scheint ganz gleichförmig, ist sehr durchsichtig und läßt keine Spur von Streifen und Bläschen wahrnehmen; — die eigentliche Entscheidung über die Vollkommenheit des Glases kann man sich jedoch nicht anmaßen, so lange man nicht daraus geschliffene größere Objective gesehen hat.

B.

Fl ü s s i g k e i t.

Fluidität, Liquidität, Flüssiges, Liquides; *Fluidum, liquidum, fluiditas, liquiditas*; Fluide, liquide, fluidité, liquidité, *Fluid, liquid, fluidity, liquidity*.

Das Wort *Flüssigkeit* hat eine doppelte, in andern Sprachen durch eigenthümliche Benennungen unterschiedene, Bedeutung, indem es sowohl die Körper selbst als auch ihren physischen Zustand bezeichnet. In beiden Beziehungen hat es dann wiederum eine doppelte Bedeutung, indem die Flüssigkeiten entweder *tropfbar* oder *expansibel* (elastisch) sind, und der Zustand derselben entweder ein *tropfbarer* oder *gasförmiger*

¹ Körner's eigene Worte.

ist¹. Andere Sprachen unterscheiden dieses, indem *fluidum*; *fluide*; *fluid* einen flüssigen Körper überhaupt bezeichnet, *liquidum*; *liquide*; *liquid*² aber nur einen solchen, welcher Tropfen bildet. Dem deutschen Ausdrucke gemäß könnte daher hier zuerst eine Untersuchung der verschiedenen sowohl tropfbaren als auch elastischen Flüssigkeiten angestellt werden, und alsdann eine genauere Bestimmung des Wesens desjenigen Zustandes, welchen wir durch die Bezeichnung eines tropfbar und elastisch Flüssigen andeuten wollen, nebst der physischen Ursache desselben nachfolgen. Weil indess eine Aufzählung der gesammten flüssigen Körper unnütz seyn würde, indem die wichtigsten ohnehin anderweitig betrachtet werden, so genügt es hinlänglich, nur den zweiten Theil der Aufgabe zu erledigen. Aber auch hierbei ist zu berücksichtigen, daß der Zustand der *elastischen Flüssigkeit* oder der *Expansion* zwei Arten von Körpern zukommt, nämlich den Gasarten und den Dämpfen, und indem die letzteren schon untersucht sind³, die Gase aber für sich behandelt zu werden verdienen⁴, so bleiben für diesen Ort nur die sogenannten *tropfbaren Flüssigkeiten* übrig, von denen daher hier ausschließlic die Rede seyn wird.

A. Flüssigkeits-Zustand.

Das eigentliche Wesen des Flüssigkeitszustandes besteht darin, daß die flüssigen Körper Tropfen bilden, weswegen auch die Bezeichnung von *tropfbar* - *flüssig* eine sehr angemessene ist. Die Bildung der Tropfen setzt voraus, daß die kleinsten Bestandtheile der Flüssigkeiten Adhäsion an einander

1 HEBE's Tadel der Eintheilung der Flüssigkeiten in tropfbare und luftförmige (jetzt gasförmige oder expansible), S. vollständ. und faßl. Unterricht in der Naturlehre Leipzig 1793. I. S. XIII. ist durchaus unbegründet, indem beiden weder der unterscheidende Charakter des Flüssigseyn's noch der einen die Fähigkeit der Tropfenbildung, der andern das Bestreben nach Expansion abzusprechen ist, weswegen auch die andern Sprachen diesen Unterschied bezeichnen, und er in der deutschen Sprache gleichfalls durch die minder gebräuchlichen Ausdrücke Fluidität und Liquidität angegeben wird.

2 Richtig wird diese Bedeutung bezeichnet durch YOUNG Lectures I. 259; falsch dagegen durch HUTTON Dict. I. 742.

3 S. Art. *Dampf*.

4 S. Art. *Gas*.

haben, und dennoch nach einer ihnen eigenthümlichen individuellen Beschaffenheit ohne einen meßbaren Widerstand über einander hingleiten, oder wie man dieses nach der Corpusculartheorie ausdrücken kann, keine Anziehung in bestimmten Richtungen der Axen dieser Bestandtheile, sondern eine nach allen Seiten gleichartige gegen einander äußern¹. Wenn man also nicht selten den Flüssigkeitszustand dadurch zu bezeichnen pflegte, daß die kleinsten Theile derselben sich ohne Mühe trennen ließen², so ist dieses nicht ganz richtig; denn wenn eine Adhäsionsplatte mit der Fläche einer Flüssigkeit in Berührung gebracht und durch eine gegebene Kraft von derselben völlig benetzt abgehoben wird, so haben sich hierbei unlegbar die Theile der Flüssigkeit nicht ohne meßbaren Widerstand getrennt, und die zum Trennen erforderliche Kraft ist soviel größer, je weniger die Flüssigkeit eine tropfenähnliche Gestalt annehmen kann, also je dünner die Schicht derselben zwischen zwei flachen Scheiben ist. Die Theilchen einer Flüssigkeit lassen sich also nicht ohne meßbare Kraft von einander trennen, allein sie gleiten ohne merklichen Widerstand über einander hin³, weswegen keine Reibung bei ihrer Bewegung auf und in einander, ihrem Hinfließen auf festen Körpern und dem Hingleiten fester Körper auf oder in ihnen in Rechnung kommt. Daß ein Hinderniß ihrer Bewegung aus der Adhäsion entstehe, zeigt sich allerdings hauptsächlich bei ihrer Strömung in Canälen und ihrem Ausflusse aus verschiedenen Oeffnungen und

1 Vergl. Th. YOUNG Lectures I. 259. J. LESLIE Elements of Nat. Phil. I. 257.

2 Diese Bezeichnung bezog sich auf die Flüssigkeiten im Allgemeinen, daher zugleich auch und vorzüglich auf die gasförmigen. Das eigentliche Wesen des Flüssigkeitszustandes ist aber das Fließen, d. h. die leichte, durch Reibung nicht gehinderte, Beweglichkeit der Theile über einander. Bei der zuletzt erwähnten Definition, die man sehr häufig und fast allgemein in den physikalischen Werken findet, liegt NEWTON'S Autorität zum Grunde, welcher aber Princ. L. II. Sect. V. Def. I. T. II. p. 106. ed. TESSANEK sehr richtig sagt: Fluidum est corpus omne, cujus partes cedunt vi cuique illatae, et cedendo facile moventur inter se. Vergl. D'ALEMBERT Traité d'équilibre et du mouvement des Fluides. §. 2. J. H. VAN SWINDEN Positiones phys. II. 2. u. v. a. LINK über Naturphilosophie. Leipzig, 1806. S. 173. daraus bei G. XXV. 133. XLVII. 2.

3 Vergl. PARROT Grundriß der theor. Physik. I. 45.

Röhren¹. Aus der leichten Verschiebbarkeit der einzelnen Theilchen oder dem widerstandlosen Hingleiten derselben über einander folgt dann ihre Neigung zur Tropfenbildung von selbst², und es lassen sich darauf zugleich diejenigen Erscheinungen zurückführen oder an dieselbe mindestens anknüpfen, deren Gesetze in der Hydrostatik und Hydraulik näher untersucht werden³, und hier deswegen unerörtert bleiben.

Der Zustand der Flüssigkeit ist ein *relativer* und grenzt ohne völlig scharfen Unterschied an den der *Starrheit*. So kann die Naphtha flüssiger genannt werden als Wasser, minder flüssig als letzteres ist Oel, noch weniger Syrup, geschmolzenes Pech und verweichtes Wachs, welche beide letztere so nahe an Starrheit grenzen, daß der Unterschied schwer anzugeben ist. Inzwischen unterliegt die Bestimmung, ob ein Körper flüssig zu nennen sey oder nicht, keiner Schwierigkeit, indem ihm dieses Prädicat so lange zukommt, als sich Tropfen aus ihm bilden. So wird man Wachs, Pech, Siegellack, Glas u. dgl. bloß erweicht nennen, wenn sie biegsam sind, und einem äußeren Drucke nachgeben, flüssig aber heißen sie, wenn Tropfen von ihnen herabfließen, obgleich diese oft bei unvollkommener Flüssigkeit und vorwaltender Zähigkeit der Körper keine runde, sondern eine länglichte, birnförmige, Gestalt annehmen, wie namentlich bei den Glastropfen oder Glastränen beobachtet wird.

Wenn man die Fähigkeit, Tropfen zu bilden, als charakteristisches Kennzeichen einer Flüssigkeit ansieht, so unterscheiden sich diese Körper sehr wesentlich von solchen, deren Bestandtheile sich leicht trennen lassen, und welche eben daher einige Eigenschaften mit jenen gemein haben, namentlich daß sie die Form der Gefäße annehmen, worin sie sich befinden, so daß man sie deswegen auch halbflüssig genannt hat, als lockere Erde, trockener Sand, Staub, Mehl und alle fein pulverisirte Körper. Genau genommen kann man aber solchen Substanzen die wesentlichen Eigenschaften der starren Körper, nämlich geringere Adhäsion und merklichere Reibung an einander nicht absprechen, nur sind ihre Theilchen zu klein, als

1 Vergl. *Hydraulik*.

2 Vergl. *Tropfen*.

3 Vergl. *Hydrostatik* und *Hydraulik*.

dafs man jene messen könnte, indem sie erst bei zunehmender Gröfse auffallender werden. So sind sie bei Kieselpulver ganz unmerklich, sichtbarer bei feinem Quarzsande, und grober Sand oder Kies erscheint schon in den einzelnen Theilchen als aus starren Körpern bestehend. Deswegen werden die aus mehreren getrennten Theilen bestehenden Massen um so weniger beim Ausschütten eine ebene Oberfläche bilden, je gröfser ihre Bestandtheile sind, weil hiermit zugleich die Reibung derselben an einander wächst, vollkommen eben ist die Oberfläche aber nur bei den Flüssigkeiten, deren Bestandtheile gar keine mefsbare Reibung an einander zeigen¹.

Als blofse Thatsache ist hinlänglich bekannt und bedarf nur einer allgemeinen Erwähnung, dafs der Zustand des tropfbar Flüssigseyn's zwischen der Starrheit und der Gasform in der Mitte liegt, und hauptsächlich durch die Wärme desgleichen durch äufseren mechanischen Druck bedingt wird. Rücksichtlich der Ersteren werden die meisten Körper durch Vermehrung der Wärme flüssig, und man darf der Analogie nach schliessen, dafs es einen Grad der Hitze giebt, bei welcher kein Körper den Zustand der Starrheit beibehalten würde². In Beziehung auf Dämpfe und Gasarten ist schon gezeigt³, dafs selbst bei den höchsten Temperaturen der Wasserdampf durch hinreichende Compression in tropfbar flüssiges Wasser verwandelt werden kann, und dafs dieses bei niedrigeren Wärmegraden noch leichter geschehen könne, ja alsobald erfolge, wenn man die Compression über seine Elasticität erhöht, ist an sich klar. Dahin gehören dann auch die schon erwähnten Versuche von CAGNIARD DE LA FOUR⁴, welche indess noch eine Wiederholung und genaue Prüfung erfordern. Vor den Gasarten ist es noch nicht mit Gewifsheit ausgemacht, ob einige bisher dem Einflusse des Erkaltens und des mechanischen Druckes völlig widerstanden haben, allein da schon verschiedene derselben tropfbar flüssig gemacht sind, so hat man auf allen Fall Grund zu vermuthen, dafs unter geeigneten Bedingungen sie sämt-

1 Vergl. LAMBERT in *Mém. de Berlin*. 1772. 33.

2 Die Angabe der Temperaturen, bei denen die bekannten Körper flüssig werden s. im Art. *Schmelzen*.

3 S. Th. II. S. 296. Vergl. 411.

4 S. Th. II. S. 230.

lich diese Veränderung erleiden würden¹. Außerdem behauptet auch PERKINS², daß es ihm gelungen sey, durch sehr starken mechanischen Druck verschiedene tropfbare Flüssigkeiten zur Krystallisation zu bringen; es ist jedoch nicht angegeben weder welche Flüssigkeiten noch unter welchen Nebenbedingungen, und die Sache muß daher erst durch die Erfahrung noch weiter bestätigt werden, ehe man mit Sicherheit ein physikalisches Gesetz darauf bauen kann.

Als eine sehr beachtenswerthe Eigenschaft der Flüssigkeiten muß hier endlich noch erwähnt werden, daß sie die Fähigkeit haben, gewisse andere feste, flüssige und gasförmige Körper in sich aufzunehmen, ohne daß ihr Volumen der Summe der beiden vereinigten gleich werde. Daß ihr Volumen durch jede auflösbare Menge mit ihren vereinigten Körpern gar nicht vermehrt werden sollte, wie unter andern HURTON³ behauptet, ist an sich nicht wahrscheinlich, und streitet gegen die Erfahrung, indem sonst die Zunahmen des spec. Gewichts derselben den Procenten der aufgelöseten Substanzen direct proportional seyn müßten. Werden z. B. 15 p. C. Kochsalz vom Wasser gelöset, so müßte das specifische Gewicht der Mischung = 1,15 seyn, anstatt daß es um = 1,11 gefunden wird⁴, und gäben Mischungen von Weingeist und Wasser keine Vermehrung des Volumens, so würde das spec. Gew. von gleichen Massen derselben = 1,791 seyn, da keine Verbindung beider = 1 wird.

SCHLÖNBACH⁵ nimmt rücksichtlich der Salzsolutionen und der Mischungen von Alkohol und Wasser an, daß das Salz oder der Alkohol nicht in die Zwischenräume des Wassers aufgenommen werden, sondern ihre Volumina, wie außer dem Wasser, beibehalten, daß aber das Wasser sich um einen aliquoten Theil zusammenziehe, eine allerdings nicht verwerfliche Vorstellung. Hiernach bestimmt er den geometrischen Ausdruck für die Zusammenziehung des Wassers = Z , welcher bei Salzlösungen $Z = 0,2nW$ und für Mischungen von Weingeist und Wasser $Z = 0,15134n'W$ ist, wenn W das Volumen oder

1 Vergl. Art. Gas.

2 Ann. of Phil. VI. 66.

3 Dict. I. p. 523.

4 S. Bischof bei G. XXXV. 372.

5 G. XI. 175.

die Menge des Wassers, n und n' aber die Menge des trocknen Salzes und des absoluten Alkohol's bezeichnet. Eine Vermehrung des Volumens der Flüssigkeiten findet endlich auch dann statt, wenn sie Gasarten, insbesondere in großer Quantität absorbiren¹.

Auffallend ist es übrigens, daß z. B. Wasser eine gewisse Quantität Salz, dann noch eine kleine Menge Zucker und noch etwas Alaun auflösen kann, mit steter Zunahme seines spec. Gewichtes², so daß also, wenn auch das Volumen etwas vergrößert wird, diese Vermehrung dennoch der Masse des hinzukommenden Körpers nicht proportional seyn kann. Uebrigens läßt sich diese Eigenschaft der Flüssigkeiten als eine mehr allgemeine betrachten, indem auch feste Körper sowohl tropfbar- als auch elastisch - flüssige Körper in sich aufnehmen, ohne eine der aufgenommenen Masse proportionale Vergrößerung des Volumens, welches sich indess leicht aus einer Aufnahme in den Poren der festen Körper erklären läßt. Endlich vereinigen sich auch feste Körper, namentlich Metalle, mit einander unter Verminderung des Volumens, weswegen das Quantitative der einzelnen Bestandtheile solcher Verbindungen, z. B. des Zinnbleies, aus dem spec. Gewichte nicht genau gefunden werden kann. Daß diese Vereinigungen übrigens einen statt gefundenen Flüssigkeitszustand als nothwendige Bedingung fordert, darf als allgemein bekannt vorausgesetzt werden.

Es ist ferner bekannt, daß der Flüssigkeitszustand der meisten Körper auf dem Einflusse der Wärme beruhet, und da der Charakter desselben in der leichten Verschiebbarkeit ihrer Theilchen besteht, so mußte nothwendig die Frage auffallen, ob und nach welchem Gesetze der Flüssigkeiten, ohne noch im mindesten fest oder zähe zu seyn, durch Vermehrung der Wärme noch mehr flüssig würden. GERSTNER hat hierüber eigends eine Reihe von Versuchen angestellt, indem er Wasser aus einem blechernen Gefäße durch ein horizontales Röhrchen fließen ließ, und bei gleichem Drucke die in gleichen Zeiten ausgeflossenen Quantitäten maß³. Aus den erhaltenen Resultaten

1 S. *Absorption*. Th. I. S. 63.

2 Hutton a. a. O.

3 Neuere Abh. der Kön. Böhmischen Gesellsch. der Wissenschaften. Prag 1798. III. 141. daraus bei G. V. 160.

folgt, daß die Wärme das Wasser bedeutend flüssiger macht, und zwar ist der Einfluß derselben größer bei kleinerem Durchmesser der Röhren und geringerer Geschwindigkeit der Bewegung, am größten ist er in der Nähe des Gefrierpunctes. Zu einem bestimmten allgemeinen Gesetze haben indeß seine Versuche nicht geführt. Uebrigens hängt diese Erscheinung damit zusammen, daß die Adhäsion der Flüssigkeiten an feste Körper mit zunehmender Temperatur abnimmt, worüber gleichfalls noch kein allgemeines Gesetz aufgefunden ist¹.

B Ursachen der Flüssigkeit.

Der Zustand der Flüssigkeit ist nicht im Wesen der Körper gegründet, so daß er gewissen Substanzen ausschließlich zukäme, vielmehr sind, mit Ausnahme des absoluten Alkohol's und des Schwefelkohlenstoffes, alle tropfbare Flüssigkeiten bereits in feste Körper verwandelt, und bei weitem die größte Menge der bei gewöhnlicher Temperatur festen Substanzen wird durch hinlängliche Wärme flüssig. Kürzlich hat BRAYLEY² zu beweisen gesucht, daß es eigentlich nur zwei Zustände der Körper gebe, nämlich der Festigkeit und der Expansion, zwischen denen das Flüssigseyn nur als Uebergangsform liege. Als Gründe hierfür erscheinen ihm die bekannten Thatsachen, daß kein scharfer Unterschied zwischen Gasarten und Dämpfen statt finde, letztere aber nur der erhöhten Temperatur und dem Mangel an Druck ihre Expansion verdanken, wonach also die Flüssigkeiten nur als comprimirte Dämpfe anzusehen wären; ferner daß auch diejenigen Substanzen, welche aus dem Zustande der Festigkeit sogleich in den der Expansion übergehen, nur unmeßbar kurze Zeit und unmerkbar im Zustande der Flüssigkeit verweilen. Letzteres zu beweisen wäre eigentlich überflüssig, da es mehr für seine Behauptung spräche, wenn recht viele Substanzen sich bloß fest und gasförmig zeigten, allein es kommt ihm darauf an zu zeigen, daß zwischen dem Festwerden gasförmiger Körper allezeit der Flüssigkeitszustand liege. Ohne auf alles Einzelne einzugehen, was für diese Meinung gesagt wird, erwähnt BRAYLEY auch das Festwerden einer Verbindung aus Ammoniakgas und Kohlensäure, und

¹ Vergl. *Adhäsion*.

² Ann. of Phil. N. S. LXIX. 192.

sucht dieses nach seiner Ansicht zu erklären; weniger gründlich wird die merkwürdige Erscheinung erläutert, daß der Schwefel erst vollkommen flüssig wird, bei größerer Hitze wieder erstarret und nach einem abermaligen Uebergange zur Flüssigkeit sich verflüchtigt und abgekühlt als Schwefelblumen in Pulverform erscheint. Dasjenige Argument, welches er als seiner Ansicht widersprechend anführt, nämlich daß sowohl Eis als auch Schnee bedeutend verdunsten, ist weniger gewichtig, als es von ihm angeschlagen wird, indem gerade bei Wasser der Uebergang von Dampf in Dunst und tropfbare Flüssigkeit so leicht geschieht, und es noch fraglich ist, ob aus dem Eise und Schnee eigentlicher Dampf oder nur Dunst gebildet wird, da nach meinen Beobachtungen¹ die vom Eise bei $-18^{\circ},5$ C. losgerissenen Theilchen sich als feiner Dunst an einer kälteren Wandung anlegten, und dann erst zu Eiskrystallen gefroren. Endlich führt BRAYLEY auch OERSTED'S Aeußerung zum Beweise seiner Ansicht an, wonach die Compression tropfbarer Flüssigkeiten und selbst fester Körper nach gleichen Gesetzen geschehen soll, als die der Gasarten, welches indess noch keineswegs entschieden ist, und wenn dieses auch wäre, so würde der Zusatz OERSTED'S, „daß die Zusammenpressung eines Körpers nur allein in den Uebergangsmomenten aus einem Aggregatzustande in den andern aufhöre, sich nach jenem Gesetze zu regeln,“ beweisen, daß dieser Physiker einen dreifachen Aggregatzustand der Körper annimmt, welcher durch eine Modification der Gesetze seines Verhaltens beim Uebergange aus dem einen in den andern sich als ein besonderer zeigt. Will man indess gerade die hier gewählten Substanzen als Beispiel benutzen, und die Compression des Wasserdampfes mit der des Wassers vergleichen, so ist die Elasticität mit der Temperatur wachsend und beim Nullpuncte unmerklich, was bei letzterem keineswegs statt findet. Wollte man übrigens auch annehmen, das Verhalten der Körper gegen mechanische Zusammendrückung sey bei jedem Aggregatzustande in sofern gleich, daß, wie bei der Luft, die Dichtigkeit von einem gewissen Puncte derselben ausgehend der zusammendrückenden Kraft proportional wüchse, welches übrigens noch keineswegs erwiesen und im Allgemeinen nicht einmal wahrscheinlich ist,

1 S. Verdunstung.

so würde dennoch der Zustand der tropfbaren Flüssigkeit schon deswegen als ein eigenthümlicher anzunehmen seyn, weil die zur Vermehrung der Dichtigkeit erforderlichen Druckkräfte nach dem Uebergange aus dem Zustande der Expansion in den tropfbar-flüssigen bei sehr vielen oder allen expansibelen Flüssigkeiten sich bedeutend ändern. Unter andern wird Chlorgas durch den Druck weniger Atmosphären tropfbar-flüssig, und wächst somit um ein Vielfaches seiner Dichtigkeit, würde aber zufolge der Analogie aller tropfbaren Flüssigkeiten nach dieser Veränderung seines Aggregatzustandes einen Druck von vielen Tausenden von Atmosphären erfordern, um dann nur die doppelte Dichtigkeit zu erlangen. Nach allem diesen und überhaupt in Gemäßheit der gesammten Erscheinungen müssen wir den Flüssigkeitszustand eben sowohl für einen eigenthümlichen Aggregatzustand halten, als die beiden übrigen.

Ungleich schwieriger, als diese Entscheidung, ist die Beantwortung der Frage, was wohl die physische Ursache des Flüssigkeitszustandes der Körper seyn möge. Nach GASENDI und seinen Anhängern wird erfordert, daß die Atome eines flüssigen Körpers rund, völlig glatt, sehr klein und überall mit Zwischenräumen umgeben sind. CARTESIUS dagegen setzte die Bedingung des Flüssigseyns in eine stete Bewegung der Elemente eines Körpers, anstatt daß aus der Ruhe derselben die Festigkeit folgen sollte. Als Beweis hierfür diente eben der Hauptcharakter flüssiger Körper, deren Theilchen sich ohne merklichen Widerstand über einander hinbewegen lassen, weil sie an sich schon in Bewegung seyen, und daher jedem Impulse sogleich nachgäben. Einen zweiten Beweis seines Satzes fand er in der auflösenden Kraft der Flüssigkeiten, deren Theilchen nicht ohne Bewegung in die aufzulösenden Substanzen dringen könnten, was aber namentlich bei Säuren mit einer großen Kraft und dem Vermögen geschehe, die festesten Körper zu trennen. Endlich könnten feste Körper nicht anders flüssig werden, als durch den Zutritt irgend einer aus stets bewegten Theilchen bestehenden Substanz z. B. des Feuers, der Luft, des Wassers u. a. m. Nach der Ansicht der Cartesianer ist dann die Luft die eigentliche bedingende Ursache der Flüssigkeit, und theilt die Bewegung dem Feuer und Wasser mit, eine Behauptung, welche aus einer mangelhaften Kenntniß der Dämpfe entstanden zu seyn scheint; die Luft aber erhält ihre Beweglichkeit durch

den Aether, welcher überhaupt die erste Bedingung aller Bewegung ist¹.

Anhänger dieser Cartesischen Ansicht waren HOOKE und insbesondere R. BOYLE², welcher die innere Bewegung der kleinsten Theile flüssiger Körper sogar durch Versuche anschaulich machen wollte. Zu diesem Ende erhitzte er sehr fein pulverisirten Gyps in einem Gefäße, und beobachtete dann an demselben eine ähnliche wallende Bewegung, als siedende Flüssigkeiten zu zeigen pflegen. Wenn er mit einem Stabe darin rührte, so entstand eine wellenartige Bewegung, ja die scheinbaren Wellen schlugen selbst nach Art einer Brandung gegen die Wände des Gefäßes. Lockerer Sand zeigt ähnliche Aeußerungen flüssiger Körper, wenn er in einem Gefäße erschüttert wird, d. h. nach Cartesischer Ansicht, wenn seine Theile Bewegung erhalten; namentlich wird dann ein schwererer Körper in ihm niedersinken, ein leichterer aufsteigen. Inzwischen bedarf diese Hypothese jetzt keiner Widerlegung mehr, und ist in gewisser Hinsicht schon durch MUSSCHENBROEK³ genügend widerlegt, indem er zeigt, daß die Theile des stark zusammengepressten Wassers doch unmöglich in steter Bewegung seyn können.

BOERHAVE folgt ohne Zweifel dem bloßen Ergebnisse der Erfahrung, wenn er das Feuer oder die Wärme als eigentliche Ursache der Flüssigkeit angiebt, jedoch ist darunter das Elementarfeuer oder der Wärmestoff zu verstehen, denn dieses giebt auch den Gasarten den Flüssigkeitszustand. DR. BLACK ist gleicher Meinung, und setzt noch hinzu, daß der verschiedene Grad der Hitze, welche erfordert wird, um diesen Zustand bei den leichtflüssigen und strengflüssigen Körpern hervorzubringen, durch Besonderheiten der Mischung und Zusammensetzung derselben bedingt sey. Als Beweisgrund für diese Behauptung dient ihm vorzüglich die Erfahrung, daß im Allgemeinen alle Mischungen bei geringeren Graden der Hitze flüssig werden, als die einzelnen Bestandtheile. NEWTON hat

1 Vergl. Hutton Dict. Art. Fluidity und die nachfolgende Schrift.

2 Fluiditatis et firmitatis Historia. S. Works. Lond. 1665. V Vol. fol. I. 240.

3 Die ausführliche Prüfung der Gründe und Gegengründe findet sich in dessen Introd. II. p. 483.

sich über das Wesen des tropfbar-flüssigen Zustandes nicht eigentlich erklärt, denn was er als Hypothese zur Erklärung des Flüssigkeitszustandes im Allgemeinen sagt, bezieht sich offenbar auf die Gasform. Dagegen bemerkt s'GRAVESANDE¹ sehr scharfsinnig, die Frage, ob der Flüssigkeitszustand allgemein von der Wärme abhängt, könne deswegen nicht genügend beantwortet werden, weil wir den absoluten Nullpunct, und man darf hinzusetzen, das Verhalten der Körper bei demselben, nicht kennen. Gewiß sey dagegen, daß nicht bloß verschiedene im gewöhnlichen Zustande feste Körper, als Metalle, Wachs u. s. w. durch Wärme flüssig würden, sondern daß auch mehrere, unter den gewöhnlichen Bedingungen flüssige, diesen ihren Zustand der Wärme verdankten; wie denn namentlich das Wasser als geschmolzenes Eis zu betrachten sey. MUSSCHENBROEK² bestreitet diese Ansicht zum Theil deswegen, weil nach der Hypothese der Cartesianer das Feuer für das ursprünglich Bewegende der Flüssigkeiten galt, und er dieses anzunehmen nicht geneigt ist, zugleich führt er aber als Gegenbeweis an, daß nach MOSES die Flüssigkeiten schon vor dem Feuer erschaffen wären. Vielmehr scheint ihm das Wesen der Flüssigkeit in einer außerordentlichen Feinheit der Bestandtheilchen zu bestehen, und er zeigt hiernach nicht bloß, daß die sogenannten halbflüssigen Körper, als feiner Sand, Pulver u. dgl. bei genauer Betrachtung doch immer noch in ihren einzelnen Theilen kenntlich seyen und sich als Pulver, nicht als Flüssigkeiten darstellten, sondern daß auch die Wärme bloß durch Verkleinerung der Elemente den Flüssigkeitszustand erzeuge und aus einem unvollkommenen in einen mehr vollkommenen verwandle. Dieses Letztere bezieht sich indess nicht auf die oben erörterte interessante Untersuchung, nach welchem Gesetze die Flüssigkeit tropfbar-flüssiger Körper mit der Temperaturerhöhung wächst, sondern auf einige das Wesen der Sache nicht eigentlich berührende Erscheinungen, nämlich daß z. B. Eierweis durch Wärme des Brütens dünnflüssiger wird, daß sich aus jungem dickflüssigem Weine durch Destillation Spiritus erhalten läßt, aus Harzen ein flüchtiges Oel u. s. w.

Es scheint mir überflüssig, alle Meinungen älterer Physiker

1 *Physices Elem. math. II. p. 662.*

2 *Introd. II. 485.*

über die eigentliche Ursache des tropfbar-flüssigen Zustandes der Körper auch nur historisch zu erwähnen, und es möge daher nur noch FONTANA'S Erklärung desselben hier Platz finden¹. Nach seiner Ansicht, wenn man sie kurz darstellt, sind in allen Körpern zwei Kräfte thätig, zuerst die Anziehung, in Folge deren alle Körper fest seyn würden, wenn sie allein wirksam wäre, und es muß daher noch eine zweite vorhanden seyn, welche verhindert, daß tropfbare Flüssigkeiten durch mechanische Gewalt zusammengedrückt nicht fest werden. Diese ausdehnende Kraft scheint ihm die Wärme zu seyn, welche daher auch feste Körper tropfbar flüssig macht, jedoch ist es nicht die Wärme allein, welche der Zusammendrückung widersteht, sondern vielmehr die individuelle Lage der Bestandtheile tropfbarer Flüssigkeiten und die hieraus folgende größere Menge von Berührungspuncten kann der zusammendrückenden Gewalt Widerstand leisten. Daß FONTANA hiernach den Atomen eine verschiedene Form und absolute Härte beilegen müsse, folgt wohl nothwendig aus dieser Hypothese. Vermehrung der Wärme, als des ausdehnenden Principes, bewirkt dann eine Vergrößerung des Volumens der Körper im Allgemeinen, und erzeugt bei größerer Steigerung die Dämpfe, welche eben deswegen durch bloße Entziehung dieses ausdehnenden Principes wieder in den tropfbar flüssigen und festen Zustand zurückkehren. Weil aber die Luft einer solchen Veränderung nicht unterworfen ist, so reicht das ausdehnende Princip der Wärme bei ihr nicht hin, sondern das *Phlogiston* ist bei ihr die Ursache der Expansion. Die Gründe, worauf diese letztere Hypothese beruhet, verdienen jetzt keine Erwähnung mehr, da die Nichtexistenz des Phlogiston's gegenwärtig hinlänglich erwiesen ist, und überhaupt sind seitdem so viele neue Thatfachen bekannt geworden, daß der Standpunct der ganzen Aufgabe dadurch als wesentlich verändert angesehen werden muß.

Insbesondere hat H. F. LINNÉ² das Wesen des Zustandes der Festigkeit und des tropfbar Flüssigseyns zu bestimmen ge-

1 S. *Opuscules physiques et chimiques*. Par. 1785. Im Auszuge in Sammlungen zur Physik und Naturgeschichte. Leipz. 1787. S. III. 722.

2 Zuerst in seinem bekannten Werke: *Ueber Naturphilosophie*. Leipz. 1806. S. 175; dann in *G.* XLVII. 1 ff. endlich in *Poggendorff's Ann.* VIII, 25; 151 u. 233.

sucht. Nach ihm ist der negative, gestaltlose, gleichförmige Zustand der Flüssigkeit der ursprüngliche, der der Festigkeit aber der abgeleitete; das Wesen der Flüssigkeit aber wird gegeben, wenn die Wirkungen der anziehenden und abstofsenden Kräfte unter der Oberfläche überall einander aufheben, so daß sich jedes Theilchen zwischen den übrigen frei bewegt. Bei dieser Darstellung liegt auffallend die Annahme der beiden Kantischen Urkräfte zum Grunde, und sie ist anschaulicher, als wenn später die bloße Ungleichheit der Anziehungskräfte angenommen wird. Hiernach heißt es ¹: „Zur Flüssigkeit wird völlige Gleichheit der Anziehungen erfordert, wechselseitiges Aufheben derselben nach allen Seiten;“ und an einer andern Stelle: „Die Verschiebbarkeit rührt von den gleichen Anziehungen innerhalb der flüssigen Masse her, eine Ungleichheit dieser Anziehungen macht weniger verschiebbare Theilchen, geringere Flüssigkeit.“ Nimmt man aber diese Ausdrücke in der gemeinen Bedeutung der Worte, so erklären sie das Wesen der Flüssigkeit durchaus nicht, man mag die erstere oder die letztere Bezeichnung in dieser Hinsicht einer Prüfung unterwerfen. Wenn nämlich die anziehenden und abstofsenden Kräfte sich völlig aufheben, so findet keine Wirkung weder der einen noch der andern statt, und die Molecülen der Flüssigkeiten müßten sich ohne irgend einen Widerstand trennen lassen, wogegen außer mehreren andern Erfahrungen schon die Tropfenbildung streitet. Würde also irgend ein Körper von einer Flüssigkeit benetzt, so müßte eine Schicht dieser letzteren von verschwindender Dicke an ihm hängen bleiben, die übrigen Theilchen aber, der Schwere folgend, wie lockeres Pulver herabsinken, ohne einen Tropfen zu bilden. Die spätere Bezeichnung ist ungleich weniger bestimmt. Eine völlige Gleichheit der Anziehungen aller Molecülen setzt keineswegs ein wechselseitiges Aufheben derselben voraus, sondern bloß den Zustand der Ruhe, welcher aber den festen Körpern mit weit größerem Rechte zugeschrieben werden muß als den flüssigen, beiden aber ohne anderweitige Bedingungen unleugbar zukommt. Denkt man sich nämlich ein gegebenes Molecül irgend eines festen oder flüssigen Körpers etwa in der Mitte desselben, so wird es von allen Seiten völlig gleichmäßig ange-

¹ G. XLVII. 12 u. 13.

zogen, muß daher ruhen, wird aber einer Kraft, welche daselbe von den begrenzenden Molecülen trennen will, nach allen Seiten hin gleichen Widerstand entgegensetzen, außer wo das blätterige Gefüge der Krystalle eine Verschiedenheit dieser Anziehung erzeugt.

Die Vorstellungen, welche LINK hiernach von der Festigkeit und Flüssigkeit hegt, lassen sich am leichtesten beurtheilen, wenn man den Weg verfolgt, auf welchem er zu denselben gelangte. RUMFORD folgerte nämlich aus seinen bekannten Versuchen¹, daß das Wasser auf seiner Oberfläche eine Art von Haut bilde, auf welcher kleine Schwimmer liegen bleiben. Obgleich dieser Satz, wenn er übrigens wahr wäre, bloß vom Wasser gültig seyn könnte, und in einer gewissen Eigenthümlichkeit desselben gegründet seyn müßte, so betrachtete dennoch LINK dieses als bezeichnenden Charakter des Flüssigkeitszustandes überhaupt, fand die Ursache des letzteren in einer Gleichheit der Anziehungen nach allen Seiten, welche eben an der Grenze fehlen und daher diesen Zustand aufheben sollte, und erklärte den Festigkeitszustand diesemnach als einen aus der Flüssigkeit abgeleiteten und folglich secundären aus einer Aggregation der Elementartheilchen in Form von Blättern mit Zwischenräumen. Das blätterige Gefüge mancher Mineralien diene zur Unterstützung dieser Hypothese, desgleichen daß der Flüssigkeitszustand wieder erzeugt wird, wenn ein tropfbar flüssiger Körper oder auch nur die Wärme die Zwischenräume der hypothetischen Blättchen ausfüllt, welche den Zustand der Festigkeit bedingen. Daß aber RUMFORD's Hypothese an sich unstatthaft sey, ist im Artikel *Adhäsion* nachgewiesen, und folgt auch aus LA PLACE's Theorie der Capillarität, welche das Phänomen der auf Wasser schwimmenden Nähnadeln aus andern Principien erklärt. Außerdem läßt sich gegen LINK's Hypothese ein Mangel an Consequenz vorbringen, indem sie nicht angiebt, warum die Festigkeit der in tropfbar flüssigen Körpern auflöselichen Substanzen nicht auch durch das Eindringen der Gase in die vorausgesetzten Zwischenräume aufgehoben wird? Endlich aber müßten tropfbare Flüssigkeiten von der einen Seite betrachtet gar nicht zusammendrückbar seyn, wenn man ihre Molecülen in unmittelbarer Berührung mit einander befindlich

1 S. *Adhäsion* Th. I. S. 196.

denken wollte, von der andern Seite aber durch mechanischen Druck sogleich fest werden, in sofern durch diesen das bestehende Gleichgewicht der anziehenden Kräfte aufgehoben würde. Solche Einwendungen ließen sich nur durch neue Hypothesen beseitigen, welches aber ein schlimmes Kennzeichen für eine aufgestellte Theorie ist¹.

In der neuesten Abhandlung sucht LINK abermals die Erscheinungen der Festigkeit auf den Conflict einer anziehenden und abstossenden Kraft zurückzuführen, und hält die hierbei wirkende Ziehkraft für eine andere als diejenige, welche der Schwere zum Grunde liegt, weil jene in einer andern abstossenden einen Gegensatz habe, diese dagegen nicht. Das hierbei beobachtete Verhalten soll dann auf das bei allen polarischen Erscheinungen vorwaltende Gesetz zurückkommen, daß gleichliegende Punkte einander abstossen, ungleichliegende aber anziehen. Bei der Prüfung des Beweises für diese Hypothese kann man sich indess der Furcht nicht erwehren, die Sache mißverstanden oder schief aufgefaßt zu haben, und auf allen Fall ist er nicht auf eine solche Weise klar und stringent,

1 Zur Unterstützung der Hypothese, daß Gleichheit der Anziehung die Flüssigkeit, Ungleichheit derselben die Festigkeit bedinge, hat man das Festwerden des Seifenschaumes angeführt. Indess kann diese, auf den ersten Blick täuschende, Erscheinung die vielen Gegengründe gegen diese Theorie nicht aufheben, namentlich daß ein Element von Eisen im Mittelpunkte einer eisernen Kugel durchaus gleichmäßiger Anziehung nach allen Seiten hin unterworfen seyn muß, und doch nicht flüssig ist. Welches ist außerdem der Unterschied der Anziehung, welche ein gegebenes Volumen Blei in einer flüssigen und in einer festen Masse dieses nämlichen Metalles erleidet? Von der andern Seite müßten Oel und Wasser, oder die vier Flüssigkeiten des Elementarglases, durch einander geschüttelt, sofort fest werden, auch könnte man das Nämliche vom Nebel und den Wolken erwarten, oder vom Wasser, wenn man das sogenannte Sieb der Vestalinnen hineinsenkt und Luft durch die feinen Löcher desselben bläst, welche dann in zahlreichen Blasen aufsteigt. Das Festwerden des Seifenschaumes dagegen erklärt sich aus der Zähigkeit der dünnen Häute, welche die zahllosen kleinen Luftblasen umgeben. So ist der Schaum des stark petillirenden Selterwassers, selbst wenn er gewaltsam aus der geöffneten Flasche steigt, gar nicht zähe, Champagnerschaum etwas zäher, Bierschaum noch mehr, und Seifenschaum wirklich fest, alles nach dem Grade der Zähigkeit, welchen die Schaum bildende Flüssigkeit besitzt.

dafs er Ueberzeugung hervorzubringen vermöchte. LINK stellt nämlich die getrennten Theile der festen Körper als Linien dar, welche beim Zerreißen eine Drehung um ihr Centrum erhalten, wonach dann das Ende der Linie angezogen, das andere abgestoßen werden soll. Allein wo liegt der Beweis, dafs die Molecülen der Körper eine lineare Form haben? Selbst in dem Falle, wenn feste Körper gebogen werden, ist eine solche lineare Anordnung der Theile nicht anzunehmen, vielmehr wird durch äußere Gewalt die Form der Körper geändert, indem die Elemente derselben entweder einander näher gerückt werden, als sie im Zustande des Gleichgewichtes sind, oder weiter von einander entfernt, bis sie über die Grenze ihrer Attractionssphäre gebracht sich trennen; nach der Ansicht anderer aber findet beides gleichzeitig statt, niemand hat indess noch eine lineare Drehung um den Mittelpunkt der die Elemente darstellenden Linien angenommen. Ueberhaupt muß die Erklärung des Zustandes der Festigkeit und Flüssigkeit entweder dynamisch oder atomistisch seyn. Im ersteren Falle verlieren sich die Elemente der Körper selbst in Kräfte, und sind fest bei überwiegender Ziehkraft, wobei eine weitere Aufsuchung des Causalen eigentlich wegfällt; im zweiten Falle, hauptsächlich nach der Ansicht der französischen Physiker seit HAÛY, sind die Molecülen der Körper gleichfalls Körper, haben demnach Ausdehnung nach drei Dimensionen, wie klein sie auch seyn mögen, ihre Aggregation ist Folge ihrer Anziehung in bestimmten Richtungen ihrer Axen, und der Zustand der Festigkeit, Flüssigkeit und Gasform wird durch den Einfluß der Wärme in demjenigen Sinne bewirkt, welchen LA PLACE's sogleich zu erwähnende Hypothese hierüber angiebt, in keinem Falle aber kann bei der Biegung eines festen Körpers an lineare Elemente, oder linear zusammengeordnete Elemente, welche sich um ihren Mittelpunkt drehen gedacht werden. Wenn man z. B. einen WOLLASTON'schen Platindraht, also einen festen Körper, abreißt, wie kann hierbei an eine solche Drehung, überhaupt an einen Conflict einer anziehenden und abstoßenden Kraft, beide als Ursache der Festigkeit angenommen, gedacht werden? Endlich dürfte man auch fragen, wo z. B. bei einem tropfbar flüssigen oder erstarrten Schrotkorne, oder etwa bei einem würfelförmigen Krystalle Flußspath, einem unleugbar festen Körper, die gleichliegenden und die un-

gleichliegenden Punkte anzunehmen sind, wovon jene zur Erklärung der Festigkeit sich abstofsen, diese sich anziehen sollen? Habe ich also die mit den eigenen Worten ihres Erfinders widergegebene Hypothese richtig verstanden, so ist sie zur Erklärung des verschiedenen Aggregatzustandes der Körper eben so ungenügend, als die frühere war¹.

Eine Hypothese, wonach v. GROTHUSS² den Flüssigkeitszustand aus einer steten, durch *Galvanismus* erzeugten, Bewegung der Atome ableitet, jenen Galvanismus aber wieder als das Resultat einer Verschiedenheit der Bestandtheile betrachtet, woraus nach seiner Ansicht alle Flüssigkeiten, auch die bisher für gleichartig gehaltenen, bestehen sollen, kann unmöglich Beifall finden. Hiernach müßte eine Mischung von Zink und Silber, welche rücksichtlich ihres galvanischen Verhaltens weit von einander abstehen, flüssig bleiben, ja die beiden Metalle müßten in der Berührung flüssig werden. Ob man ferner annehmen darf, daß der Sauerstoff und Wasserstoff im Wasser noch mit ihrer eigenthümlichen galvanischen Thätigkeit neben einander bestehen, und nicht ein neues, individuell galvanisches, Ganzes bilden, ist sehr fraglich. Im Ganzen aber ist die Theorie unhaltbar, weil sie in gewisser Hinsicht voraussetzt, daß ein Körper erst flüssig seyn müsse, und dann seine Bestandtheile die Bewegung als Ursache ihres Flüssigkeitszustandes durch Galvanismus erhielten.

Schon an mehreren Orten dieses Werkes³ ist LA PLACE'S Hypothese erwähnt, wonach er den verschiedenen Zustand der Körper rücksichtlich ihrer Festigkeit, Flüssigkeit oder Gasform aus dem Einflusse der Wärme ableitet, und sie muß noch einmal im Artikel *Gas* vollständig untersucht werden. Hier wird es also genügen sie zunächst nur in so weit zu betrachten, als sie sich auf den Zustand des tropfbar Flüssigseyns bezieht⁴.

¹ Da diese Hypothese die allernueste jetziger Zeit ist, so konnte eine ausführliche Prüfung derselben hier nicht übergangen werden.

² G. LXI. 63.

³ S. *Abstofsung* Th. I. S. 125. *Anziehung* ebend. S. 343. *Atmosphäre* ebend. S. 497. *Cohaesion* Th. II. S. 130. *Elasticität* Th. III. S. 217.

⁴ Vergl. *Gas*.

Nach LA PLACE¹ hängt die Aggregatform der Körper, ob sie fest, flüssig oder gasförmig sind, davon ab, daß jedes Molecül eines Körpers dem Conflict dreier Kräfte unterworfen ist, erstlich der Anziehung der umgebenden Molecülen, zweitens der Anziehung des Wärmestoffes jener Molecülen, drittens der Repulsion seines Wärmestoffes durch den Wärmestoff jener Molecülen, indem jene beiden Vereinigung bewirken, die letztere Trennung. Eine Anziehung der Molecülen der Körper gegen den Wärmestoff, oder umgekehrt, ergeben die Erfahrungen auf die evidenteste Weise, denn ohne diese würde der Wärmestoff die Körper sofort verlassen und sich mit der Umgebung in Gleichgewicht setzen, welches aber bekanntlich nicht geschieht; die Abstofsung des Wärmestoffes in sich selbst ist aber aus dem Verhalten der Gasarten und Dämpfe abstrahirt, welche sowohl überhaupt als auch insbesondere im Verhältnisse ihrer Temperatur ein Bestreben nach steter Ausdehnung zeigen. Im Zustande der Festigkeit ist jene erstere Kraft überwiegend, und die Molecülen sind, mit Rücksicht auf ihre Gestalt, nach ihrer stärksten Attraction vereinigt. Die Vermehrung der Wärme schwächt den Einfluß der Form der Molecülen, und wenn dieser sehr geringe wird oder verschwindet, so werden die Körper durch die überwiegende Thätigkeit der zweiten Kraft flüssig. Wird die dritte überwiegend stark gegen die beiden ersten, so entfernen sich alle Theile der Flüssigkeit von einander und werden expandirt.

Die Hypothese empfiehlt sich ausnehmend durch ihre genaue Uebereinstimmung mit einer großen Menge von Erscheinungen. Dahin gehört hauptsächlich, daß die Wärme alle Körper ausdehnt², die Kälte dagegen zusammenzieht, und zwar mit einer ihrer Cohäsion fast ganz gleichen Kraft. Man kann sich dieses daraus erklären, daß die Attractionskraft der Molecülen ungehindert ihre Thätigkeit ausübt, wenn ihr nicht durch das repulsive Princip der Wärme entgegengewirkt wird. Vor allen Dingen aber stimmen mit dieser Hypothese die zahlreichen Erscheinungen überein, daß so viele feste Körper, namentlich die Metalle, durch Wärme aus dem Zustande der Festigkeit in den der Flüssigkeit und endlich der Gasform über-

1 Ann. Ch. et Phys. XXI. 22.

2 S. Ausdehnung I. 557.

gehen, und bei dieser Veränderung ihres Aggregatzustandes eine so große Quantität Wärme binden, obgleich aus RITTER'S Behauptung, daß die beim Uebergange aus dem festen in den flüssigen Zustand latent werdende Wärme bei allen Körpern 77°C . betrage, mit der Erfahrung nicht übereinkommt¹. Endlich gehört dahin auch noch das bekannte Phänomen, daß durch Zusammendrückung aller Körper Wärme ausgeschieden wird. KÄMTZ² findet einen Beweis für die Richtigkeit dieser Hypothese auch darin, daß die *Fluidität* der tropfbaren Flüssigkeiten bei den leichtesten am größten ist, der Siedepunct aber bei den letzteren am tiefsten liegt. Als einen Beweis der ersteren Behauptung führt er an, daß wenn Quecksilber, Wasser, Weingeist und Naphtha, jedes in einem besonderen Gefäße, gleichmäßig geschüttelt werden, die Undulationen so viel später aufhören, je leichter die Flüssigkeiten sind. Nach beiden Sätzen muß man also annehmen, daß die Molecülen der leichteren Flüssigkeiten durch den Wärmestoff weiter von einander gehalten werden, und daß eine geringere Vermehrung des letzteren erfordert wird, um die gegenseitige Attraction der Molecülen bis zur Erzeugung der Dampfform völlig zu überwinden. Obgleich indess beide durch KÄMTZ aufgestellte Sätze in dem Verhalten verschiedener Flüssigkeiten eine auffallende Bestätigung finden, so können sie doch auf Allgemeinheit keineswegs Anspruch machen. Die fetten Oele, z. B. sind sämtlich spec. leichter als das Wasser, haben aber eine weit geringere Fluidität, und in Beziehung auf den Siedepunct liegt derselbe namentlich bei der wasserfreien schwefeligen Säure nach BUSSY³ bei -10°C . und dennoch ist ihr spec. Gew. = 1,45, bei der Salzsäure aber liegt der Siedepunct bei 48°C . und doch ist ihr spec. Gewicht = 1,1978 und andere Anomalien mehr.

Die letztgenannten Argumente können indess die Hypothese LA PLACE'S an sich nicht widerlegen, verdienen aber bei der Würdigung derselben im Allgemeinen nicht übersehen zu werden. Es kommt hier ferner nicht als etwas dieser Ansicht Entgegenstehendes in Betrachtung, daß wir das Wesen der Wärme noch nicht genau kennen, und es also nicht als ausge-

¹ G. IV. 13. Vergl. *Schmelzen*.

² Hall. Allgem. Liter. Zeitung 1826. No. 270.

³ Schweigg. Journ. N. F. II. 452.

macht ansehen dürfen, ob man sich unter derselben eine ätherartige Materie oder eine für sich bestehende Kraft oder endlich eine bloße Modification der Körper selbst zu denken habe¹, welches allerdings dann zu erörtern ist, wenn eine Bestimmung darüber verlangt wird, ob die Wärme das einzige, in der Natur existirende, Princip der Repulsion ist; und ob sie diese Abstofsungskraft durch sich hat oder wiederum einer für sich bestehenden, der Anziehung widerstrebenden, Kraft verdankt. LA PLACE entscheidet bei der Aufstellung seiner Hypothese über diese Fragen nur zum Theil, indem er ein Angezogenwerden der Wärmethelchen durch die Molecülen der Körper und eine gegenseitige Abstofsung jener unter einander annimmt, folglich ein materielles Wesen mit inwohnender Repulsionskraft voraussetzt, ohne zu bestimmen, woher die letztere ihren Ursprung habe. Läßt man diese, bei der Wärmelehre nochmals anzustellende Untersuchung hier vorläufig auf sich beruhen, so muß man gestehen, daß die Laplace'sche Hypothese den Erscheinungen auf eine ausgezeichnete Weise angemessen ist, und wir können sie also zur Erklärung des tropfbar flüssigen und gasförmigen Zustandes der Körper ganz so annehmen, wie sie durch den scharfsinnigen Geometer aufgestellt ist, jedoch muß dabei zunächst in Beziehung auf den Zustand der tropfbaren Flüssigkeit noch Folgendes berücksichtigt werden.

1. Nicht alle Körper sind bei der nämlichen Temperatur tropfbar flüssig. Dieses läßt sich bis jetzt noch nicht anders anders erklären als aus der Voraussetzung, daß die Molecülen der verschiedenen Körper eine ungleiche Anziehungskraft haben, welche daher durch die eindringende, und von den einzelnen Körpern mit ungleicher Stärke angezogene, Wärme nicht auf gleiche Weise überwunden werden kann. Uebrigens ist bis jetzt noch kein bestimmtes Verhältniß zwischen der Cohäsion, der specifischen Wärmecapacität, dem spec. Gewichte und dem Schmelzpunkte der verschiedenen schmelzbaren Körper aufgefunden, und ein constantes Gesetz scheint hierüber gar nicht vorhanden zu seyn², weswegen man nicht wohl umhin

¹ Vergl. *Abstofsung* Th. I. S. 126.

² Das von DÜLONC und PETIT aufgefundenene wichtige Gesetz über ein constantes Verhältniß zwischen den Atomgewichten und

kann, bei den Körpern insgesamt eine individuelle Beschaffenheit der einzelnen Elemente anzunehmen¹.

2. Man müßte eigentlich erwarten, daß zusammengesetzte Körper bei einer Temperatur flüssig würden, welche die Summe der Producte ihrer Massen in die Temperaturen ihrer Schmelzpunkte dividirt durch ihre beiderseitigen Massen ist; allein dieses stimmt nicht mit der Erfahrung überein. In sehr vielen Fällen sind nämlich alle zusammengesetzte Körper leichter schmelzbar als ihre einzelnen Bestandtheile, in andern dagegen, z. B. beim Schwefelblei, werden sie schwerer schmelzbar². Außerdem aber geben, ohne den Einfluß einer erhöhten oder verminderten Temperatur, manche vereinigte Gasarten tropfbar-flüssige oder auch feste Körper, und tropfbare Flüssigkeiten, mit einander vereinigt, erscheinen als fest. Als Beispiele mögen hier erwähnt werden, die Verbindung des Sauerstoffgas mit Wasserstoffgas zu Wasser, des salzsauren- und Ammoniak-Gas zu Salmiak, desgleichen als noch auffallender, daß ein Maß Fluorborongas mit zwei Maß Ammoniakgas tropfbar-flüssig, gleiche Maße von beiden vereinigt aber fest werden. Eine Verbindung von Schwefelsäure mit einer gesättigten Solution von kaustischem Natron krystallisirt nach dem Erkalten, und liefert feste Krystalle, welche das vorhandene Wasser als Krystallisationswasser enthalten. Ein zwar im Wesentlichen minder bedeutendes, aber des augenblicklichen Erfolges wegen auffallenderes und daher bekannteres Beispiel des Festwerdens tropfbarer Flüssigkeiten ohne Temperaturverminderung ist, wenn man eine gesättigte Solution von salzsaurem Kalke mit einem etwa gleichen Volumen verdünnter Schwefelsäure (1 Th. Säure 1 Th. Wasser) mischt, und die Masse sofort consistent werden

spec. Wärmecapacitäten der Körper verweise ich unter den Art. *Wärme*.

1 Avogadro's Untersuchungen, welche mit dieser Frage einigen Zusammenhang haben, können hier nicht mitgetheilt werden. S. Mémoire della Reale Acad. della Sc. di Torino. XXX u. XXXI. Vgl. *Materie*. Auch Pannot's indirecter Einwurf gegen diese Hypothese LA PLACE's, welchen er aus dem ungleichen Verhältnisse der Cohäsion und Wärmecapacität der Körper hernimmt. S. Theor. Naturl. I. 89, fällt weg, wenn man den Moleculen der verschiedenen Körper eine verschieden starke Anziehungskraft gegen einander und gegen die Wärme beilegt.

2 Vergl. *Schmelzen*.

sieht. Hierbei verbindet sich die Schwefelsäure mit dem Kalke zu Gyps, welcher im Wasser unlöslich ist, und die verdünnte Salzsäure in seine Zwischenräume aufnimmt. Das Factische hierbei ist, daß die Molecülen des Kalkes mit Salzsäure verbunden eine größere Neigung zum Flüssigseyn haben, als wenn sie mit Schwefelsäure vereinigt sind, und zwar in einem so überwiegenden Grade, daß im letzteren Falle selbst die zwischen den Gypstheilchen befindlichen Flüssigkeiten, nämlich Salzsäure und Wasser, die Verwandlung in einen festen Körper nicht hindern, ohne daß eine veränderte Temperatur hierbei wirksam ist. Als Erklärung nach LA PLACE's Hypothese kann angeführt werden, daß wegen großer Affinität zwischen Schwefelsäure und Kalk, wovon erstere noch obendrein einen geringen Grad von Fluidität und ein großes spec. Gewicht hat, eine sehr innige Verbindung beider Substanzen eintritt, wodurch einige Verdickung und Ausscheidung von etwas Wärme als Folge geringer Wärmecapacität verursacht wird. Hiernach können dann die vergrößerten Molecülen des Gypses ihrer Attraction ungehinderter folgen, und sich zu einem festen Körper vereinigen, welcher ohnehin leicht krystallisirt, und dabei in sein Gefüge eine Menge Wasser theils als Krystallisationswasser, theils als zwischen den vereinigten feinen Nadeln des krystallisirten Gypses mechanisch eingeschlossen aufnimmt, welches, wie oben erwähnt ist, in einem solchen gebundenen Zustande das Flüssigseyn nicht herbeiführt. Aehnliche Erscheinungen giebt eine Mischung aus gesättigten Lösungen von salzsaurem Kalke und schwefelsaurem Natron, wobei die Säuren ihre Salzbasen wechseln; auch kann man alle Präcipitate dahin rechnen, welche durch Vermischung von Solutionen mit tropfbaren Flüssigkeiten entstehen. Hierbei kommt dann der Uebergang der gelösten Substanz aus dem Flüssigkeitszustande in den der Pulverform oder einer consistenten Masse zugleich auch darauf hinaus, daß der flüssige Körper der neuen Verbindung den Flüssigkeitszustand zum Theil vielleicht wegen geringerer Affinität zu demselben nicht mehr zu ertheilen vermag.

3. Es reihen sich hieran diejenigen Erscheinungen, welche sich bei einigen Substanzen zeigen, nämlich daß sie in niedriger Temperatur flüssig, in höherer gerinnen, also bei vermehrter Wärme aus dem liquiden Zustande in einen minder liquiden, härteren, übergehen. Dahin gehört vorzüglich der Eiweißstoff,

Käsestoff und einige andere Körper. Man kann diese Art des Verhaltens ohne große Schwierigkeit schon dann mit der aufgestellten Hypothese vereinigen, wenn man annimmt, daß die Moleculen der genannten Substanzen durch den Einfluß der Wärme eine vermehrte Anziehungskraft zu einander erhalten, während die zum Wasser geschwächt wird, weswegen sie sich einander mehr nähern, das flüssig machende Wasser aus ihren Zwischenräumen entfernen und daher eine größere Dichtigkeit und mehr Festigkeit erhalten. Alle diese Körper werden nämlich nicht an sich durch den Einfluß der Wärme flüssig, sondern durch ein mit ihnen verbundenes Fluidum, dessen auflösende Kraft aber durch Wärme nicht vermehrt sondern vielmehr vermindert wird.

Außerdem aber ist das Verhalten dieser Körper in Beziehung auf die Wirkungen der Wärme nicht rein, sondern es kommt dabei der Einfluß chemischer Verwandtschaften in Betrachtung. Der Käsestoff z. B. gerinnt in frischer Milch nur an der Oberfläche beim Zutritte der atmosphärischen Luft und also muthmaßlich durch den Beitritt des Sauerstoffes aus derselben; ist er aber in der älteren Milch schon geschieden, so hat sich auch Säure gebildet, durch deren Einfluß derselbe beim Erhitzen erhärtet. Ob nicht bei der Erhärtung des Eiweißstoffes etwas Aehnliches durch den Beitritt des im Wasser enthaltenen und aus der Luft hinzutretenden Sauerstoffes geschehe, bleibt immer fraglich.

4. Ungleich schwieriger ist es, das allerdings räthselhafte Verhalten des Schwefels in verschiedenen Temperaturen überhaupt zu erklären, oder insbesondere auch mit der aufgestellten Hypothese in Einklang zu bringen. Es ist nämlich allgemein bekannt, daß dieser Körper durch Hitze tropfbar flüssig wird, und einen bedeutenden Grad der Fluidität erhält, durch weitere Vermehrung der Wärme aber eine braun-röthliche Farbe annimmt, dabei wieder in den Zustand der Zähigkeit übergeht, und bei noch größerer Hitze abermals flüssig geworden aus diesem Zustande sich verflüchtigt. Man kann dieses allerdings seltsame Phänomen am leichtesten beobachten, wenn man eine Glasröhre von 1,5 Fuß Länge und 0,3 bis 0,5 oder 0,75 Zoll Durchmesser, nachdem sie an einem Ende zugeblasen ist, zu etwa 0,6 ihrer Länge mit Schwefel füllt, das offene Ende mit einem Korke leicht verstopft und über Kohlen erhitzt. Es läßt

sich dann der Schwefel über Kohlen leicht schmelzen, wobei man seine vollkommene Flüssigkeit beobachten kann, durch fortgesetzte Erhitzung wird er aber zähe, geht jedoch wieder in den Zustand der Flüssigkeit über, wenn man ihn nach dem durch Hitze erfolgten Erstarren etwas erkalten läßt. Will man auch die Sublimation beobachten, so darf man die Erhitzung nur fortsetzen, wodurch er nach abermaligem Flüssigwerden vermocht wird, sich im oberen Ende der mit Papier lose verstopften Röhre als feines Pulver (sogenannte Schwefelblumen) anzusetzen. Dafs der Schwefel bei der eben beschriebenen Festwerdung sich verdichte und an Volumen abnehme, glaube ich bei wiederholten Versuchen ohne genaue Messungen beobachtet zu haben¹.

Wenn der Schwefel wirklich ein einfacher Körper ist, wie die Chemiker bis jetzt annehmen, so ist dieses Verhalten desselben höchst räthselhaft, und die Natur bietet kein bis jetzt bekanntes analoges irgend eines Körpers dar. Mit LA PLACE'S Theorie ist es an und für sich genommen ganz unverträglich, allein man würde auf ein einzelnes Phänomen zu vieles Gewicht legen, wenn man eine übrigens so consequente und so viele Erscheinungen erklärende Hypothese um seinetwillen sofort aufgeben wollte. Eine Vermehrung der Wärme muß zwar die einzelnen Elemente jedes Körpers mehr von einander entfernen, und daher im Allgemeinen die Fluidität verstärken, allein bei einer so räthselhaften Potenz, als die Wärme ist, kann man sich doch mindestens vorstellen, dafs bei einer gewissen Intensität derselben die Theilchen der erhitzten Körper eine individuelle Lage annehmen, vermöge welcher sie sich einander stärker anziehen, und daher einen verminderten Grad des Fluidität zeigen. Ob sie in diesem eigenthümlichen Zustande eine Art von Krystallisation zeigen, ist durch Versuche noch nicht ausgemittelt, und überall schwer bestimmbar, inzwischen deutet die Veränderung der Farbe des Schwefels und seine geringere Durchsichtigkeit in dem genannten Zustande allerdings auf eine veränderte Lage seiner Molecülen. Man könnte in gewis-

1 Nach OSANN Beiträge zur Chemie und Physik. Jena 1822. 8. S. 69 schmilzt der Schwefel bei 75° R., wird bei 102° R. zähe, bei 166° wieder dünnflüssiger, siedet bei 195° R. und kann beim Erkalten in einer Temperatur von 60°,5 R. noch flüssig erhalten werden.

ser Hinsicht dieses sein Verhalten mit dem des Wassers vergleichen, welches aus dem Eise dargestellt durch Vermehrung der Wärme zuerst den Zustand der grössten Dichtigkeit erhält, und von diesem an durch die Wärme nach einem gewissen Gesetze ausgedehnt wird. Inzwischen mag dieses nur als ein Versuch gelten, ein Phänomen zu enträthseln, welches seine vollständige Aufklärung erst in der Zukunft erwartet. SCHWEIGER¹ findet die Ursache desselben in einer eigenthümlichen *Krystall-Elektricität*², welche den Elementen der Körper angehörend den Einfluss der Wärme auf dieselbe modificiren soll; allein OSANN³ wendet hiergegen mit vollem Rechte ein, daß die Existenz einer solchen eigenthümlichen Elektricität noch nirgend nachgewiesen und ihre vermeintliche Modification des Einflusses der Wärme überall noch nicht dargethan ist. Wir wissen zwar, daß die Elektricität bei vorzüglicher Intensität Wärmeentwicklung erzeugt, daß sie aber die Wirkungen der Wärme aufheben sollte, dafür spricht keine der bis jetzt bekannten Thatsachen, und sollte die *Krystall-Elektricität* dieses bewirken, so müßte zuvor ihr Unterschied von der gemeinen Elektricität und der Grund, worauf sich dieses ihr Verhalten stützt, genügend dargethan werden. OSANN⁴ hält dagegen den Schwefel für keine einfache Substanz, und nimmt an, daß das Lösungsmittel desselben, welches durch den Einfluss der Wärme seinen Flüssigkeitszustand herbeiführe, bei erhöhter Temperatur mit geringerer Kraft auf die gelösete Substanz wirke, diese daher ausgeschieden und fester werde. Nach dieser Ansicht reihet er diese Erscheinung an die unter No. 5 zu erwähnenden an, allein eine genauere Prüfung ergiebt, daß sie unter diese Classe nicht gehört. Einen Beweis für die Zusammensetzung des Schwefels findet er hauptsächlich in diesem seinem Verhalten bei verschiedenen Graden der Hitze, und namentlich in der Veränderung seiner Farbe. Allein auf der einen Seite liegt in dem Uebergange des Schwefels aus dem Zustande der Festigkeit in den der Flüssigkeit und dann wieder zur Zähigkeit und abermals zur Flüssigkeit durch bloße Vermehrung der Hitze

1 Dessen Journ. V. 49.

2 Vergl. *Krystall-Elektricität*.

3 G. LXIX. 283 u. 298.

4 a. a. O. S. 297.

kein Grund, auf sein Zusammengesetztseyn zu schliessen, auf der andern würde es sogar schwierig seyn aus optischen Gründen nachzuweisen, warum der aus dem Flüssigkeitszustande wieder zähe gewordene Schwefel nicht die Farbe des festen wieder erhalten sollte, da an eine Entmischung desselben oder das Hinzukommen eines Bestandtheiles nicht zu denken ist. Endlich aber enthält OSANN's Hypothese keine eigentliche Erklärung, sondern schiebt diese nur etwas weiter hinaus. Denken wir uns nämlich den Schwefel aus einem Auflösungsmittel und einer auflöselichen Substanz zusammengesetzt, und wird die auflösende Kraft des ersteren durch Hitze so sehr verstärkt, daß der Flüssigkeitszustand beider vereinten Substanzen dadurch erzeugt wird, worin sollte der Grund liegen, daß die vermehrte Wärme diese Kraft schwächte, und die noch stärker vermehrte sie wieder herstellte? Wenn OSANN sagt, das auflösende Mittel werde stärker ausgedehnt, und seine Theile trennten sich dadurch mehr von dem aufgelöseten Körper, so daß die Moleculen des letzteren ihrer eigenthümlichen Anziehung ungehindert folgen könnten, so müßte die zunehmende Hitze diese Trennung, und somit auch die Festigkeit des aufgelöseten Körpers fortwährend vermehren, welches aber gegen die Erfahrung streitet.

5. Wäre OSANN's Erklärung die richtige, so fielen die angegebene Erscheinung mit einer andern, fast gleich räthselhaften, zusammen, nämlich der Lösbarkeit des Kalkes im Wasser. DALTON nahm wahr, daß dieser Körper mehr heißes Wasser zu seiner Lösung bedürfe als kaltes, PHILLIPS aber hat durch genauere Versuche gefunden, daß 1 Theil Kalk, 656 Theile Wasser von 0° C., 752 Theile von 15°,6 und 1280 Th. Wasser von 100° zu seiner Lösung erfordert, so daß daher das bei 0° gesättigte Kalkwasser bei 100° viel Kalk in kleinen Krystallen absetzt¹. Sollte dieses Phänomen dem eben angegebenen völlig gleich seyn, so müßten die in höherer Temperatur gebildeten Krystalle in noch höherer wieder aufgelöset werden, worüber zwar keine Versuche vorhanden sind, welches aber nicht wahrscheinlich ist. Eine festbegründete befriedigende Erklärung dieser Thatsache scheint mir für jetzt noch zu fehlen, Hypothe-

¹ DAVY System II. 331, PHILLIPS Ann. of Phil. I. 107. Vergl. L. Gmelin Handbuch 3te Aufl. I. 642.

sen liefsen sich wohl ohne grofse Schwierigkeit auffinden; der Unterschied beider Phänomene, des beim Schwefel und des beim Kalke sich zeigenden wird weiter unten angegeben werden.

6. Es giebt noch einige bekannte und vielleicht noch verschiedene unbekante Verbindungen, welche durch erhöhte Temperatur minder flüssig werden, gerinnen oder erstarren. Da ich mich nicht zu weit in das Gebiet der Chemie verirren darf, so erwähne ich nur kurz die wichtigsten und bekanntesten derselben¹. Diese sind die von LASSONNE² und OSANN³ aufgefundenen Verbindungen von weinsteinsäurem Kali und Natron mit Kalk und Strontian, desgleichen von Zucker und Kalk, und die von GAY-LÜSSAC⁴ angegebene essigsäure Thonerde, sobald sie gewisse andere Salze beigemischt enthält, wie dieses bei ihrer Darstellung aus Alaun und Bleizucker der Fall ist. Alle diese Verbindungen haben das Eigenthümliche, dafs sie nach der verschiedenen Stärke ihrer Concentration in ungleichen höheren Temperaturen gerinnen, wobei einer der Bestandtheile ausgeschieden wird, welcher sich aber beim Erkalten der Flüssigkeit in derselben wieder auflöset, und daher bei geringerer Wärme durch das Filtrum geht, wenn er bei höherer auf demselben zurückbleibt. OSANN ist geneigt, auch dieses Verhalten mit dem des Schwefels in Parallele zu setzen, und beide auf gleiche Weise zu erklären; ungleich leichter und der Natur der Erscheinung selbst angemessener scheint es mir aber zu seyn, wenn man annimmt, dafs das Wasser, welches den Flüssigkeitszustand der verschiedenen vereinigten Substanzen unter Mitwirkung eines wechselseitigen Einflusses derselben auf einander erzeugt, bei erhöhter Temperatur mit einem oder einigen jener Substanzen inniger verbunden, eben dadurch von einem oder mehreren derselben aber getrennt wird, und somit eine Ausscheidung, also eine Gerinnung derselben bewirkt. Das Ganze kommt folglich auf ein durch die Temperatur bedingtes ungleiches Spiel der Verwandtschaften jener aufgelöseten Stoffe zurück, indem noch obendrein bei den meisten jener Verbin-

1 Vgl. Schweigg. J. V. 49.

2 Mém. de l'Acad. Étrang. 1773. 214.

3 G. LXIX. 283.

4 Ann. de Chim. LXXIV. 195.

dungen der Kalk sein unter No. 5. angezeigtes Verhalten gleichfalls wahrnehmen läßt, und auf allen Fall sind diese Erscheinungen nicht geeignet, als Argumente gegen LA PLACE's Theorie benutzt zu werden.

7. Das bekannte, von MUSSCHENBROEK zuerst beobachtete, von BLAGDEN¹ genauer untersuchte Phänomen, daß reines und ruhig stehendes oder nur wenig bewegtes Wasser tief unter den Gefrierpunct erkaltet werden kann, nach erfolgter stärkerer Bewegung aber, oder bei der Berührung mit einem Eiskrystalle sogleich gefriert und eine höhere Temperatur annimmt, kann nur scheinbar als gegen LA PLACE's Hypothese streitend betrachtet werden, da es genau genommen einen bedeutenden Beweis dafür liefert². Man könnte allerdings sagen, daß die Wärme das unter dem Gefrierpunct erkaltete Wasser verlasse, und wenn man jene als das repulsive Princip betrachte, welches das feste Eis in tropfbar flüssiges Wasser zu verwandeln vermöge, so müsse auch umgekehrt die Entziehung derselben den Zustand der Festigkeit wieder herbeiführen, wenn nicht andere Ursachen, namentlich attractive und repulsive Kräfte dabei wirksam wären. Eine Würdigung der letztern Hypothese wird sogleich folgen, hier wird aber vorläufig erfordert nachzuweisen, wie sehr das eigentliche Verhalten der in Frage stehenden Erscheinung die Hypothese von dem Bedingteyn des festen oder tropfbar flüssigen Zustandes der Körper durch Wärme unterstütze. Wollen wir nämlich das genannte Phänomen nach LA PLACE's Hypothese erklären, so müssen wir annehmen, daß bei allmäliger Entweichung der Wärme die Molecülen des Wassers einander in Folge ihrer Attraction näher kommen, womit zugleich eine Zunahme der Dichtigkeit verbunden ist, und dieses dauert so lange, bis das Wasser den Punct seiner größten Dichtigkeit erreicht hat. Dieses merkwürdige Verhalten, nämlich daß eine Flüssigkeit vor ihrem Festwerden durch Kälte zuvor am dichtesten wird, ist dem Wasser vermuthlich deswe-

1 Phil. Trans. LXXVIII. I. 125 u. 277.

2 Biot Traité. I. 253. erzählt dieses Phänomen ausführlich, und sieht im Allgemeinen die Wärme als Ursache der Repulsion an, ohne zu entscheiden, ob sie das repulsive Princip selbst sey, oder nur eine eigenthümliche Repulsivkraft besitze; auch giebt er nicht bestimmt an, ob jenes Phänomen für oder wider LA PLACE's Hypothese entscheide.

gen allein eigen, weil es durchaus homogen eine solche überwiegende Neigung zur vollkommenen Krystallisation hat, und bei seiner Krystallisation eine so bedeutende Ausdehnung erhält. Andere Flüssigkeiten liefern entweder keine so vollkommene Krystalle beim Festwerden, oder die aus ihnen gebildeten Krystalle werden eigentlich nur aus den Lösungsmitteln ausgeschieden, welches ein von dem völligen Krystallisiren des Wassers ganz verschiedener Proceß ist. Wäre irgend ein anderer Körper in dieser Hinsicht mit dem Wasser in Parallele zu setzen, so müßte es das Wismuth seyn, es ist mir aber nicht bekannt, ob auch bei diesem Metalle ein Punct der größten Dichtigkeit in seinem geschmolzenen Zustande statt findet. Bei dem Wasser also müssen wir annehmen, dafs, nach HAÜY'S¹ Ansicht von der Krystallbildung, die Molecülen desselben bei dem Puncte seiner größten Dichtigkeit in eine Lage kommen, in welcher sie sich zur Erzeugung ihrer bestimmten Krystallformen nach speciellen Richtungen ihrer Axen anziehen, und daher nur in einigen Puncten einander näher kommen, in andern aber weiter von einander entfernen. Befindet sich das Wasser dann in vollkommener Ruhe, und wird den Theilchen desselben kein schon gebildeter Krystall genähert, durch dessen Anziehung die Molecülen sollicitirt werden, sich an diesen anzulegen und gleichfalls Krystalle zu bilden, so wird kein Festwerden eintreten, wenn nicht durch überwiegende Entziehung der Wärme dieses dennoch erfolgt. Die durch die Molecülen des Wassers angezogene Wärme, welche in gewisser Hinsicht den Gesetzen träger Massen eben so als die Molecülen des Wassers selbst und gleichzeitig mit diesen folgt, wird latent, und wirkt nicht auf das im Wasser befindliche Thermometer, bis sie durch irgend einen Impuls in Bewegung gesetzt sowohl die Bildung der Krystalle durch ihre Entweichung gestattet, als auch gleichzeitig am Thermometer durch Erhöhung der Temperatur wahrgenommen wird.

Manche Physiker werden in dieser Ansicht eines seit langer Zeit bekannten merkwürdigen Phänomens eine auffallende Hinnegung zum groben Atomismus erblicken, in sofern der Wärme

1 S. *Éssay d'une théorie sur la structure des cristaux*. Par. 1784. *Traité de cristallographie*. Par. 1822.

ein Angezogenwerden durch die Molecülen des Wassers und sogar eine Art von Trägheit bei ihrer Bewegung zugeschrieben, zugleich aber von Axen der Molecülen des Wassers und einer ungleichen Anziehung nach der Richtung und Lage derselben geredet wird; allein seitdem die Krystallographie durch gleiche Principien zur reellen Wissenschaft erhoben ist, die Chemie aber über gleichem Grunde ein wohlgeordnetes, regelrechtes und allem Anscheine nach unerschütterliches Gebäude aufgeführt hat, darf die verschwisterte Physik mit unbestreitbarem Rechte zum Mindesten den Versuch wagen, auf einem ähnlichen festen Boden sich selbst systematisch zu ordnen, um so mehr als das lockere Gewebe bloßer entgegenwirkender Kräfte das Ganze nicht weiter zusammenzuhalten vermag, und man sogar schon mit glänzendem Erfolge die schwierigsten Phänomene des Lichtes aus mechanisch fortschreitenden Undulationen eines Lichtäthers zu erklären versucht hat. Uebrigens steht die erörterte Thatsache der Krystallisation des Wassers nicht isolirt und ohne ähnliche Erscheinungen im Gebiete der Naturlehre, sondern man darf annehmen, daß ziemlich allgemein bei schnellem Uebergange zur Krystallform Wärme entbunden wird. Nur ein Beispiel dieser Art möge hier Platz finden, welches zugleich so auffallend ist, daß es ohne die gewichtige Autorität des Erzählers kaum Glauben finden würde. B. SCHOLZ¹ erzählt nämlich: „Es wurde eine bis zum Krystallisationspuncte abgedampfte Lauge salzsauren Kalkes im Winter vor das Fenster zum Krystallisiren gestellt. Als nach dem völligen Erkalten der Lauge dieses nicht vor sich gehen wollte, nahm ich die Abrauchschale herein, um die Lauge weiter abzdampfen. Durch diese Erschütterung fing die ganze Lauge augenblicklich zu krystallisiren an, die Schale wurde aber auch so schnell heiß, daß ich sie kaum so lange halten konnte, um sie auf den nächsten Tisch zu tragen. Dabei fing die Lauge sich heftig zu bewegen und zu wallen an, als ob sie im stärksten Sieden begriffen wäre.“ Es scheint mir überflüssig, aufser dem, was rücksichtlich der Krystallisation des Eises in sehr niedriger Temperatur gesagt ist, der eben erwähnten Erscheinung noch eine Erklärung hinzuzufügen. Aehnlich dieser Erscheinung ist das

1 Anfangsgründe der Physik. Wien 1821. S. 252.

Flüssigbleiben des Schwefels in mittlerer Temperatur nach FARADAY¹ und des Phosphor's nach POGGENDORFF².

Verschiedene Physiker sind nicht geneigt, der oben angegebenen Hypothese LA PLACE's beizutreten, namentlich diejenigen, welche sich zur sogenannten dynamischen Ansicht der Naturlehre bekennen, und diesernach schon im voraus eine Anziehungs- und Abstofsungskraft annehmen, die Theorie von Molecülen und den sie umgebenden Wärmeatmosphären dagegen verwerfen. Diese Hypothese kann hier nicht umfangend erörtert werden, indem dieses vielmehr bei der Untersuchung des Wesens der Materie³ geschehen muß, und es wird daher genügen, nur das Wichtigste kurz anzugeben. Da sich die Ausdehnung der Körper durch Wärme einmal nicht in Abrede stellen läßt, so ist nach einigen Physikern entweder die Wärme eben wie das Licht die Dehnkraft selbst, oder diese letztere ist in jenen beiden Potenzen überwiegend über den zweiten constituirenden Bestandtheil derselben, nämlich die Ziehkraft. In wiefern beide Ansichten unmittelbar zu Inconsequenzen führen und mit den Erscheinungen nicht übereinstimmen, wird im Art. *Wärme* gezeigt werden. Andere nehmen zwar die Existenz der beiden Grundkräfte an, halten aber zugleich die Wärme für eine individuelle Potenz, und legen dieser das Vermögen bei, durch Repulsion die Theilchen der Körper zu trennen. Wenn man die Aeußerungen der zuletzt genannten Physiker nach dem einfachen Sinne der Worte erklärt, so nehmen sie eine für sich bestehende, der Attractionskraft entgegengesetzte, analogen umgekehrten Gesetzen folgende, und durch den Conflict mit jener verschiedene Erscheinungen erzeugende und bedingende Repulsionskraft an, legen aber neben dieser auch der Wärme das Vermögen bei, die Theile der Körper weiter von einander zu entfernen, das Volumen der Massen zu vergrößern, sie dadurch minder starr, fest und cohärent zu machen, und durch Steigerung ihres Einflusses den Aggregatzustand der Körper abzuändern. So consequent auch diese Hypothese auf den ersten Blick die Phänomene zu erklären scheint, so läßt sie doch genau genommen drei wichtige Fragen ganz unbeantwortet.

1 Journ. of Science and the Arts. N. LXII, 392.

2 Dessen Journ. VII. 241.

3 S. *Materie*.

Zuerst nämlich fragt es sich, warum bloß der Wärme ein so überwiegender Antheil der übrigens allgemein verbreiteten und wenn man so sagen darf, gleichmäßig vertheilten Repulsionskraft zugefallen sey, wenn man nicht annehmen will, die Repulsivkraft der Wärme sey eine andere und von verschiedener Art als diejenige, welche z. B. die völlige Berührung zweier ebener Platten oder die absolute Dichtigkeit aller gegebener Körper hindert; in welchem Falle dann der Unterschied beider Kräfte zuerst nachzuweisen wäre. Zweitens, welches ist das Verhältniß der einen allgemein wirksamen und zugleich in der Wärme sich äussernden Repulsivkraft oder beider verschiedener Kräfte gegen die Attractionskraft z. B. bei der Erscheinung einer plötzlichen Erstarrung der Körper mit Entweichung von Wärme, in der Krystallbildung, namentlich des Eises? Welche Rolle spielt hierbei die Repulsivkraft? Entweicht sie zugleich mit der Wärme, oder wird auch sie latent, und kann es überhaupt eine latente Kraft geben? Dafs sich das erwähnte Phänomen nach atomistischen Grundsätzen consequent erklären lasse, ist oben gezeigt, wie dieses aber nach dynamischen Principien geschehen könne, ohne sich in die Schwierigkeit zu verwickeln, einen wesentlichen Unterschied zwischen Wärme und Dehnkraft anzugeben oder eine latente Kraft, d. h. eine unthätige Thätigkeit anzunehmen, ist mir bis jetzt noch nicht klar geworden. Die dritte Frage, welche diese Hypothese unbeantwortet läßt, läuft auf etwas diesem ähnliches hinaus, nämlich warum das Verhalten der expansibelen Flüssigkeiten, vor allen der Dämpfe, lediglich eine Function der Wärme sey, und namentlich durch Compression derselben Wärme ausgeschieden, durch Expansion gebunden werde. Bei den Dämpfen soll nach sehr allgemein angenommenen, schon durch den unsterblichen NEWTON angegebenen Ansichten die Dehnkraft vorzugsweise thätig seyn¹, allein bei der Prüfung der Phänomene reicht man mit der Wärme allein aus und redet allezeit nur von dieser. Werden z. B. Dämpfe von einer höheren Temperatur in einen größeren Raum gebracht, so dehnen sie sich aus, ein Theil ihrer Wärme wird latent; bei der umgekehrten Erscheinung findet das Gegentheil statt, und in beiden Fällen nach genauen Verhältnissen des Quantitativen der gebundenen oder frei wer-

1 Vergl. *Gas*, wo diese Fragen näher untersucht werden.

denden Wärme. Welche Rolle spielt hierbei die Dehnkraft, wenn sie nicht eine müßige Begleiterin der Wärme seyn soll? Es scheint nach allem diesen um vieles leichter und consequenter, mit LA PLACE, BIOT u. a. die Wärme als das Princip aller Repulsion zu betrachten, und von den vielfach modificirten Wirkungen derselben zugleich den verschiedenen Aggregatzustand der Körper, namentlich den der Festigkeit, Flüssigkeit und Gasform abzuleiten, als, eine für sich bestehende, der Anziehung entgegenwirkende Dehnkraft als Ursache dieser verschiedenen Aggregatformen anzusehen, wobei aber eine andere Hauptfrage allezeit noch unbeantwortet bleibt, nämlich ob die Wärme selbst dieses repulsive Princip sey, oder ob ihr die eigentliche Abstofsungskraft nur eigenthümlich zugehöre. Eine genügende Beantwortung dieser Frage ist vor der Hand nicht bloß schwierig sondern vielleicht unmöglich, eine nähere Erörterung derselben aber gehört in den Art. Wärme.

Da es viel zu weitläufig seyn würde, die verschiedenen Meinungen der Physiker über die vorliegende Frage einzeln zu untersuchen, so beschränke ich mich darauf, nur einige der wichtigsten, denen die übrigen mehr oder minder ähnlich sind, einer näheren Prüfung zu unterwerfen. PARROT hat sich vorzugsweise sehr bestimmt darüber erklärt, daß die Erscheinungen der Adhäsion und Cohäsion nicht auf die NEWTON'sche Attraction zurückgeführt werden könnten, sondern eine eigenthümliche Flächenanziehung forderten¹. Als Beweis hierfür wird angegeben², daß die Flüssigkeiten die meisten Berührungspuncte, und zwar gerade in Beziehung auf Flächenanziehung, hätten, folglich am meisten Theile, welche sehr nahe an einander sind, und sie müßten daher weit mehr Zusammenhang zeigen als feste Körper. In der Note wird dann hinzugesetzt, daß die Wärme hier nicht aushelfen könne; indem z. B. das Quecksilber am wenigsten Wärmestoff und zugleich (unter den Flüssigkeiten) die größte Dichtigkeit habe. Hiernach scheint also PARROT den Aggregatzustand der Körper nicht der Wärme, sondern den Modificationen der Flächenanziehung beilegen zu wollen. Wie schwierig übrigens die Entscheidung der Hauptfrage sey, und wie leicht man sich bei der Beant-

¹ S. Flächenkraft.

² Grundriß der theor. Physik. I. 90.

wortung derselben in Widersprüche seiner eigenen Theorie verwickle, dieses ergibt sich eben aus dem hier Mitgetheilten selbst. Wäre nämlich die Flächenanziehung sowohl überall wirksam, als auch insbesondere die Ursache des Aggregatzustandes der Körper, so folgt nothwendig, daß die flüssigen Körper in Folge der mehreren Berührungspuncte sowohl die größte Dichtigkeit als auch die stärkste Cohäsion haben müßten, wie auch PARROT selbst gefühlt hat. Wollte man annehmen, die Theile derselben wären weiter von einander entfernt, und dadurch die Wirkung der Flächenanziehung geringer, so bleibt es dunkel, wodurch diese grössere Entfernung der Molecülen bewirkt werde, und diese Dunkelheit kann durch die Annahme einer gegenwirkenden Flächenabstofsung nicht aufgehellet werden, weil damit nicht zugleich die eigentlich thätige Ursache angegeben ist, welche die Wirksamkeit der einen oder der andern dieser beiden Kräfte, und das Verhältniß ihrer gegenseitigen Stärke bedingen könnte. Zu einer grösseren Glätte der Molecülen seine Zuflucht zu nehmen reicht gleichfalls nicht hin, weil nicht abzusehen ist, warum z. B. die Molecülen des Eisens im geschmolzenen Zustande glätter seyn sollten als im festen. Aus diesen und vielen andern Betrachtungen folgt dann gleichsam von selbst, daß die Theorie LA PLACE'S noch immer weit weniger Schwierigkeiten zurückläßt, als die so eben angedeutete, obgleich auch sie die Frage nicht ohne gewichtige Einwendungen unbeseitigt zu lassen beantwortet. Uebrigens dient das aus der geringen specifischen Wärme des Quecksilbers hergenommene Argument eher zur Bestätigung, als auf keinen Fall zur Widerlegung derselben; denn eben in der geringen specifischen Wärme dieser Flüssigkeit kann der Grund nachgewiesen werden, weswegen die geringe Quantität derselben, als Folge einer unbedeutend starken Anziehung zwischen beiden, auch nur eine minder starke Repulsion ausübt, so daß in Folge stärkerer Attraction zwischen den Molecülen dieser Flüssigkeit sie eine so überwiegende Dichtigkeit hat¹.

1 RICHMANN hat schon zu zeigen gesucht, daß Quecksilber die Wärme leichter annimmt und abgibt als Wasser; zugleich aber widerlegt er den von vielen Physikern angenommenen Satz, daß die dichtesten Körper die Wärme am schwersten annehmen und abgeben sollten. S. Nov. Com. Pet. III. 309. Das Nähere hierüber s. Art. *Wärme*.

Eine scharfsinnig aufgefasste und gründlich durchdachte Theorie der inneren Beschaffenheit fester und tropfbar flüssiger Körper hat neuerdings SEEBER¹ aufgestellt, welche hier vor allen Dingen näher betrachtet zu werden verdient. Er geht hierbei von der Prämisse aus, daß die festen Körper aus den Theilen ihrer Materie gebildet sind, indem diese sich einander wechselseitig anziehen, wobei man aber in Gemäßheit dieser einzigen wirksamen Kraft nothwendig auf absolute Dichtigkeit kommen müßte. Nimmt man aber auf die Erscheinungen der Ausdehnung durch Wärme und insbesondere der Elasticität und Dehnbarkeit Rücksicht, überlegt man ferner, daß die Erklärung des Grundes dieser Veränderungen nicht gegeben, sondern nur weiter hinausgeschoben würde, wenn man denselben in der Beschaffenheit der Elementartheilchen suchen wollte, so kann man nicht umhin zu der Hypothese seine Zuflucht nehmen, daß die einfachen Theile der Körper durch anziehende und abstoßende Kräfte in gewissen Entfernungen von einander gehalten werden, wonach sie sich in Gemäßheit der Wechselwirkung beider in einem *stabilen Gleichgewichte* befinden. Die Veränderungen des Volumens durch Temperatur sollen sich dann aus einer veränderten Größe der Abstände dieser Molecülen als Folge einer vermehrten oder verminderten Intensität jener Kräfte erklären lassen. Kaum verdient hierbei noch besonders bemerkt zu werden, daß aus der Nichtwahrnehmbarkeit weder jener Molecülen noch ihrer Abstände unmöglich auf die Nichtexistenz beider geschlossen werden könne, indem die Theile der Körper schon der Erfahrung nach so klein sind, daß sie unserer Wahrnehmung entschwenden, und diesen nothwendig auch die Zwischenräume proportional seyn müssen².

1 G. LXXVI. 229 ff.

2 Wenn wir annehmen, daß bei -640° C. der absolute Nullpunct liegt, und nach LA PLACE der Abstand der Molecülen fester Körper bloß eine Function der Wärme sey, endlich, daß feste Körper sich den Verminderungen der Wärme direct proportional zusammenziehen, so würden diese bei -640° C. in den Zustand absoluter Dichtigkeit übergehen, und hieraus liefse sich dann das Verhältniß der Größe der Molecülen zu ihren Zwischenräumen finden. Heißt nämlich das Volumen eines Körpers bei 0° C. $= v$, bei einer niedrigeren Temperatur aber v' , die cubische Ausdehnung für einen Grad des Thermometers k , so ist bekanntlich $v' = v(1 + kt)$. Ist dieses Verhältniß der Ausdehnung ein beständiges, so ist $v' : v = 1 : 1 + kt$.

Man wird schon aus dem bisher Gesagten abnehmen, daß die Hypothese, woraus SEEBER den Zustand und die vorzüglichsten relativen Eigenschaften fester Körper zu erklären sucht, auf das in der Mechanik bekannte stabile Gleichgewicht (das *équilibre stable* nach dem Ausdrücke der französischen Geometer) zurückkommt, in welchem ein System von materiellen Punkten durch entgegenwirkende Kräfte erhalten wird, wie dieses durch viele Geometer, hauptsächlich durch LA GRANGE, LA PLACE und POISSON mit eben so großem Scharfsinn als Gewandtheit im analytischen Calcüle dargestellt ist. Dieser Theorie gemäß wird der Zustand des Gleichgewichts oder der Bewegung eines Systems von materiellen Theilen, welche durch anziehende und abstoßende Kräfte auf einander wirken, bedingt durch die Masse und Form der Theile, ihre Lage in Beziehung auf einander und das Gesetz, wonach die Intensität der Kräfte bei wechselnder Entfernung sich ändert. Die materiellen Theilchen, woraus hiernach die festen Körper bestehen, müssen also eine gewisse Form haben, welche übrigens auch nach der Umwandlung ihres Aggregatzustandes aus dem festen in den flüssigen unverändert bleiben muß, und die Gründe für die Annahme solcher ursprünglichen Gestalten findet SEEBER in dem Verhalten der Krystalle rücksichtlich ihrer Gestalt, ihres Gefüges, des Blätterdurchganges und der Theile, worin man dieselben zerlegen kann, wobei er also ganz den Ansichten HAÜY's folgt. Von diesen regelmässigen Krystallen aber auf die übrigen nicht krystallisirten unorganischen Körper und von diesen dann endlich auf die organischen zu schliessen ist zuverlässig um so leichter erlaubt, als überhaupt die nicht krystallisirten Körper durch mancherlei Verbindungen so leicht krystallisirbar werden. HAÜY's Theorie giebt indels den *molécules intégrantes* ebene Flächen, und läßt sie mit einander in unmittelbare Berührung kommen. Indem Letzteres aber aus oben angegebenen Gründen unstatthaft ist, so kann auch Ersteres wegfallen, wenn man nur annimmt, daß sich zwischen den Ato-

und das Volumen z. B. des Glases, wobei $k = 0,000027$ gesetzt werden kann, wäre also bei $-640^{\circ} \text{C.} = 0,983$, mithin betrüge die Verkleinerung nur $0,017$ des Ganzen, und letztere Größe gäbe zugleich das Verhältniß der Zwischenräume zu der Masse, so daß ein Wahrnehmen derselben hiernach von selbst als unmöglich erscheint.

men Zwischenräume befinden. Aus der Erfahrung lassen sich ferner die Formen der Körperelemente nicht bestimmen, weil die Theilbarkeit der Körper allgemein weit über die Grenze der Beobachtung hinausgeht, und SEEBER nimmt daher die Kugelform hypothetisch als die wahrscheinlichste an¹, theils weil sie die einfachste ist, theils weil dann die Richtung der anziehenden und abstossenden Kräfte durch die Schwerpunkte geht, mithin keine Rotation entstehen kann, und man hat außerdem bei der Bestimmung ihres stabilen Gleichgewichtes nur die Lage ihrer Mittelpunkte zu berücksichtigen. Indem endlich die festen Körper durch mechanische Gewalt in Theile getrennt werden können und dadurch weder selbst noch auch die von ihnen abgerissenen Theile den Zustand der Festigkeit verlieren, so folgt hieraus nothwendig, daß das stabile Gleichgewicht der Elemente nicht von ihrer Gesamtwirkung abhängt, sondern das die Resultate der Wirkungen der Anziehungen und Abstossungen von wie vielen Elementen jedes Körpers es seyn möge = 0 wird, auch müssen jene einander entgegenwirkende Kräfte auf eine solche Weise jedes Element im stabilen Gleichgewichte erhalten, daß sie, so lange dieses besteht, zwar sich wechselseitig aufheben, bei veränderter Entfernung der Elemente von einander aber, werde diese vergrößert oder vermindert, sich wieder thätig zeigen. Dabei wird endlich noch angenommen, daß die kugelförmigen Atome sich durch die Wirkungen ihrer Kräfte zu parallelepipedischen Kerngestalten oder Elementar-Parallelepipeden ordnen lassen.

SEEBER zeigt dann weiter² durch geometrische Construction, wie sich die kugelförmigen Atome zu den Elementar-Parallelepipeden ordnen lassen, eine bei der Voraussetzung hinlänglicher Kleinheit von jener nicht schwierige Aufgabe, giebt ferner einen geometrischen Ausdruck für den Abstand der Mittelpunkte zweier Atome, und sucht endlich eine Function, welche für sehr kleine Veränderungen dieses Abstandes durch 0 in positive oder negative Werthe übergeht und bei noch immer

1 Die durch MITSCHERLICH entdeckte ungleiche Ausdehnung der Krystalle durch Wärme s. Ann. Ch. P. XXVI. 222. scheint übrigens der Annahme prismatisch gestalteter Moleculen günstiger zu seyn, ohne daß man genöthigt ist, hiermit zugleich unmittelbare Berührung derselben anzunehmen.

2 S. ebend. p. 349.

sehr kleinen Incrementen des Abstandes unmeßbar kleine, fast verschwindende Werthe giebt. Durch diese scharfsinnige geometrische Untersuchung ist also wirklich ein analytischer Ausdruck gefunden, welcher dasjenige ausdrückt, was wir in der Natur beobachten, nämlich dafs in einem gewissen Abstände der Molecülen fester Körper jene durch keine bewegende Kräfte sollicitirt werden, indem sie ruhen, und also die in ihnen vorhandenen Kräfte durch Gegenwirkung aufgehoben ihnen ein stabiles Gleichgewicht geben müssen; ferner dafs bei einer durch äufsere Gewalt bewirkten Näherung oder Entfernung der Atome in jenem Falle die Abstofsung ausnehmend wächst, in diesem aber höchst schnell bis zum Verschwinden abnimmt, welches alles der Erfahrung völlig angemessen ist. Noch mehr aber: es ist sogar nachgewiesen, dafs die an Krystallen gemessenen Winkel mit denjenigen übereinkommen, welche die, die Mittelpuncte der Atome verbindenden Linien mit einander bilden, wenn diese Atome zu den Elementar - Parallelepipeden vereinigt werden; allein hiermit ist die grofse Frage über die Elemente der Körper, die ihnen eigenthümlichen Kräfte und das Verhältniß, in welchem beide zu der Veränderung ihres festen, tropfbar flüssigen oder gasförmigen Aggregatzustandes stehen, noch keineswegs entschieden. In dieser Beziehung nämlich stehen auch dieser Theorie noch folgende Argumente entgegen.

1. Dafs sich unter der Voraussetzung der Existenz sphärischer Atome und ihrer Anordnung zu Elementar - Parallelepipeden ein analytischer Ausdruck für ein stabiles Gleichgewicht derselben finden läßt, welcher zugleich für veränderte Entfernungen dieser Elementartheile mit der Erfahrung in einigen wesentlichen Puncten übereinstimmende Werthe giebt, beweiset noch keineswegs die physische Existenz weder jener Molecülen noch ihrer angenommenen Anordnung. Ueberhaupt dafs irgend ein Gesetz sich ohne inneren Widerspruch geometrisch construiren läßt, kann unmöglich das wirkliche Vorhandenseyn desselben in der Natur beweisen, sondern die Geometrie gewährt bloß demjenigen, was lediglich aus der Erfahrung entnommen seyn muß, einen deutlicheren, bestimmteren und schärferen Ausdruck, wie dieses noch neuerdings durch MOLLWEIDE¹ an einem sehr sprechenden Beispiele gezeigt ist.

¹ G. LXII. 422.
IV. Bd.

2. Wenn die Atome aller Körper sphärisch sind und gleichen Gesetzen der Anziehung und Abstofsung folgen, so können sie zwar zu den verschiedensten Elementar - Parallelepipeden und somit zu den verschiedensten Krystallformen geordnet werden, allein die Anordnung derselben ist bei allen Körpern gleich und willkürlich; die Hypothese erklärt also nicht, warum sie bei gleichen Körpern stets dieselbe und für ungleiche verschieden ist.

3. Wenn das stabile Gleichgewicht der Atome durch den Conflict anziehender und abstofsender Kräfte bewirkt wird, und die positive oder negative Wirksamkeit dieser letzteren eine Function der Entfernung jener Atome von einander ist, wie dieses der analytische Ausdruck angiebt; woher kommt es dann, daß bei größerer Entfernung der Elemente oder größerer Näherung derselben durch erhöhte oder verminderte Temperatur dennoch das stabile Gleichgewicht unverändert bleibt? Die Wärme einer von Außen einwirkenden mechanischen Gewalt gleich zu setzen, hat auf allen Fall vieles gegen sich. Hiermit innig zusammenhängend ist

4. die in der Hypothese nicht berührte Frage über den Zusammenhang der Wärme mit den beiden zur Erhaltung des stabilen Gleichgewichtes angenommenen Kräften. Daß die Wärme auf die Elemente der Körper repulsiv wirke, dieses ist durch die Erfahrung sicherer und untrüglicher begründet, als irgend ein bei jener Theorie angenommener Satz. Sollte also diese vollständig seyn, so müßte das Verhältniß nachgewiesen werden, in welchem die Wärme mit jenen beiden Kräften, insbesondere aber mit der Repulsion steht, und zwar namentlich ob sie mit dieser letzteren identisch, oder nur ähnlich und ihre Wirkung vermehrend ist, wobei dann die aus dem eigentlichen Wesen beider hergenommene Art und Weise, auf welche dieses geschehen kann, nicht unberücksichtigt bleiben dürfte. Man sieht also, daß LA PLACE'S Hypothese bei der Erklärung des verschiedenen Aggregatzustandes der Körper durchaus nicht unbeachtet bleiben kann, weil sie zu unmittelbar aus der Erfahrung hergenommen ist, als daß sie bei der Auffindung der Gesetze für die durch Beobachtung aufgefundenen Thatsachen übergangen werden könnte.

5. Es läßt sich endlich zeigen, daß die Theorie von dem Conflict anziehender und abstofsender Kräfte und einem hierdurch

erzeugten stabilen Gleichgewichte in sich nicht consequent ist. Wenn man sich nämlich zwar leicht vorstellen kann, daß im Conflict beider ein Zustand der Ruhe, ein stabiles Gleichgewicht, erzeugt wird, so fügt sich dennoch die Erfahrung einer allgemeinen Construction ihrer gegenseitigen Wirksamkeit keineswegs. Um dieses an einem Beispiele zu zeigen, denke man sich einen stählernen Cylinder von beliebiger Dicke und gleichbleibender Temperatur, in welchem also das stabile Gleichgewicht der Atome vorhanden ist. Wird dieser dann durch äußere mechanische Gewalt ausgedehnt, wodurch die Atome in größere Entfernung von einander kommen, so wird die Repulsion abnehmen, die Attraction aber zunehmen, schon deswegen, weil die erstere bei größerer Annäherung der Atome wächst, und beide einander entgegengesetzt sind. Die Anziehung erhält auch wirklich ihr Maximum, ohne jedoch unendlich zu werden, bis der Körper zerreißt, und dann werden beide Kräfte = 0. Dieses liegt an sich nicht im analytischen Ausdrucke, und wenn man zu gleicher Zeit berücksichtigt, daß bei einem bedeutenden Abstände der Atome in der Dampfgestalt der Körper abermals eine unverkennbare Repulsion wahrnehmbar wird, so führt auch diese Betrachtung wieder auf das Verhältniß der Wärme zu den beiden Kräften, welches also auf allen Fall bei keiner Hypothese zur Erklärung des verschiedenen Aggregatzustandes der Körper übersehen werden darf.

Aus allen diesen Betrachtungen ergiebt sich also endlich sehr augenfällig, daß die eigentlichen Ursachen, welche den verschiedenen Aggregatzustand der Körper erzeugen und bedingen, noch keineswegs mit genügender Gewißheit erforscht sind, und daß einem jeden Versuche, diese wichtige Frage zu beantworten, sehr bedeutende, wo nicht unüberwindliche Schwierigkeiten entgegenstehen. Vorläufig aber, und bis zu näherer Aufklärung der Sache bleibt die Hypothese, welche die Wärme als nächste wirkende Ursache ansieht, noch immer der Erfahrung am angemessensten, und man kann sie daher um so mehr beibehalten, als bei der Bestimmung des Wesens der Wärme auch auf die Wirkungen derselben hinsichtlich der Flüssigmachung und Dampfbildung Rücksicht zu nehmen ist.

J. F. FRIES hat ohne Widerrede die Theorie von dem Conflict zweier Grundkräfte mit dem eindringendsten Scharf-

sinne aufgestellt, einer großen Menge von Erfahrungen angepaßt und am vollständigsten mit innerer Consequenz durchzuführen gesucht. Daß er auch die Ursachen des verschiedenen Aggregatzustandes der Körper auf dieselben zurückführe, versteht sich wohl von selbst, und in sofern müßten seine Ansichten hier billig geprüft werden; weil er sich aber dabei vorzüglich auf den gasförmigen Zustand bezieht, so verspare ich diese Untersuchung für den Artikel *Gas*. M.

Flugmaschine.

Die Begierde der Menschen, den Vögeln gleich sich in die Luft zu erheben, hat in verschiedenen Zeitaltern Vorschläge und wohl auch Versuche dazu hervorgebracht. Ohne bis zu der Mythe des DÄDALUS aufzusteigen, begnüge ich mich dasjenige hier beizubringen, was in den neuern Jahrhunderten der P. FRANZ. LAUA vorschlug. Er berechnet, daß das Gewicht einer luftleeren Kugel von 14 F. Diameter aus Messingblech, (dessen Quadratfuß 3 Unzen wiegt) nur 1848 Unzen betragen würde, während dem ein gleiches Volumen von Luft 2156 Unzen wöge, so daß die Kugel nicht bloß in der Luft schweben, sondern noch eine Last von 304 Unzen mit sich erheben würde: größere Kugeln von gleicher Metalldicke würden folglich noch mehr leisten. Allein schon früher hatte der Mönch BACON etwas Aehnliches angegeben, ja sogar behauptet, es mit Erfolg ausgeführt zu haben. Sein Apparat bestand aus mehreren Kugeln von dünnem Kupfer, an denen eine Art Fahrzeug befestigt war. Schon BORELLI und HOOK haben jedoch das Unausführbare dieser Pläne sowohl in Beziehung auf die Dichtigkeit, und den ungenügenden Widerstand des Kupfers, als auch in Absicht auf die Schwierigkeiten der Exantlirung dargethan.

Was das verflossene Jahrhundert hierin durch die Erfindung der *Aërostaten* geleistet hat, ist unter jenem Artikel zu lesen. Wir beschränken uns in diesem auf dasjenige, was hierin nicht auf hydrostatischem Wege, sondern durch wirkliche Flügelbewegung versucht worden ist.

AUG. WILH. ZACHARIÄ beschreibt am Schlusse seiner Elemente der *Luftschwimmkunst*¹ die Einrichtung eines Modelles,

1 Die Elemente der Luftschwimmkunst. 1807. 8.

das sein Bruder, CHRIST. FRIEDR. ZACHARIÄ, verfertigt hatte, und welches einen kleinen mit beweglichen Flügeln ausgerüsteten Fallschirm aus Fischbeinstäben und Taffent vorstellte. Der Flügelschlag wurde durch Federn und Räderwerk hervorgebracht, war aber nicht vermögend, das Gestelle schwebend zu erhalten, obgleich die Maschine, wenn sie mit der Hand gehalten wurde, bei jedem Flügelschlage, der sich etwa in einer Secunde wiederholte, einen merklichen Ruck aufwärts machte.

Einer besondern Beachtung werth sind sie Versuche, welche der Uhrmacher JACOB DEGEN in Wien im Jahr 1808 daselbst mit einer von ihm erfundenen Flugmaschine anstellte¹. Wenn diese auch noch Manches zu wünschen übrig liefs², so leistete sie doch den Thatbeweis, daß der Mensch durch Flügelschläge einen beträchtlichen Theil seines Gewichts überwinden könne. Sein Apparat enthielt zwei Flügel, deren Gerippe aus Bambusrohr, die Oberfläche aus feinem gefirnisten Papiere bestand. Die Länge eines jeden betrug 10 Fuß 4 Zoll, die größte Breite 9 Fuß; seine Oberfläche hielt 54 Quadratfuß. Sie glichen einem beinahe runden Schirme, der nach der äußern Seite hin in eine zugespitzte Verlängerung ausgezogen ist. In jedem Flügel befanden sich 3500 papierne Klappen, die an Seidenfäden befestigt, nach unten sich öffneten. Alles war durch seidene Schnüre, die an einem aufrechten Stabe wie an einem Mastbaume sich vereinigten, hinreichend gespannt und gesteift. Die Ebene der Flügel befand sich etwa in der Höhe des Halses des aufrecht stehenden Fliegenden, und das Gestell war fest mit seinem Körper verbunden, ohne jedoch irgend eine seiner Bewegungen zu hemmen. Sehr zweckmäfsig hatte der Künstler die größte Kraft benutzt, die der Mensch mit seinen Gliedern äußern kann, indem er ihn mit den Füßen, wie zum Sprunge gerüstet, einen Rahmen niedertreten liefs, der die Flügel niederschlagen machte³. Mit diesem Apparate

1 Beschreibung einer neuen Flugmaschine von JACOB DEGEN, Wien 1808. Mit 1 Kupfert.; und in G. XXX. 1. und XXXI. 192. die Nachrichten von J. CHR. STELZHAMMER.

2 Man sehe die Bemerkungen von PRECHTL in G. XXI. 320.

3 BORELLI setzt die beim Sprunge wirkende Muskelkraft auf das 2900fache Gewicht des Menschen. Es ist bekannt, daß Fuhrleute einen schweren Wagen dadurch herumheben, daß einer auf der Erde liegend, die Füße gegen die eine Axe desselben anstommt,

machte DEGEN die ersten Versuche in der Kaiserlichen Reitschule zu Wien, indem er durch ein von der Decke herabhängendes Gegengewicht seine Last etwa um die Hälfte erleichterte. Er selbst wog 119 Pf., die Maschine 25 Pf., das Gegengewicht 75 Pf., die Reibung über die Rollen 9 Pf., so daß er also $119 + 25 + 9 - 75 = 78$ Pf. durch den Flügelschlag zu erheben hatte; er erhob sich daselbst durch etwa 34 Schläge in 30 Secunden auf eine Höhe von 50 Fufs, was etwa $1\frac{1}{2}$ Fufs Erhebung durch einen Flügelschlag giebt. Bei einem spätern Versuche hatte sich der Künstler mittelst eines Aërostaten von 19 Fufs Durchmesser, der ihn nur eben zu tragen vermochte, bis zu 40 und zu 105 Klaftern erhoben, und war, nachher vom Balle sich losmachend, ganz allmählig heruntergestiegen: das Sinken geschah so langsam, daß kein Zuschauer Besorgnisse empfand; der Künstler konnte sogar zuweilen ausruhen und dann durch neue Flügelschläge sich wieder erheben; er konnte sich umwenden, selbst vom Winde ohne Flügelschlag erheben lassen; und kam in beiden gemachten Versuchen ohne alle Beschädigung zur Erde.

So groß auch die Schwierigkeiten seyn mögen, die dem Fluge des Menschen, den BORELLI schlechterdings für unmöglich erklärt, sich entgegensetzen, so beweisen doch die angeführten Versuche sowohl die Wirksamkeit des Flügelschlags, als auch die Fähigkeit des Menschen, ihn bei gehöriger Einrichtung ohne allzu große Ermüdung mit ziemlicher Kraft fortzusetzen. Künftige Geschlechter werden nach FRANKLIN'S Ausdrücke *das Kind groß ziehn*, und schwerlich dürften die bisherigen Anfänge der Luftbeschiessung von ihrem Ziele so weit abstehen, als die Versuche der ersten Schiffer von der jetzigen Vollkommenheit der Hydronautik. H.

F l u o r.

Fluorine; *Fluorum*; Fluor; *Fluor*. Ein Stoff, welchen man nicht für sich kennt, dessen Gegenwart man je-

und durch Ausstrecken der etwas eingezogenen Beine die Last emporhebt. Bei einem Versuche mit dem Dynamometer, dessen oberes Ende durch einen um die Hüften befestigten Riemen, das untere von dem unter die Füße gelegten Eisen gespannt wurde, zerrifs der eiserne Haken, und das Dynamometer zeigte die Kraft des seine Knie und Hüftgelenke ausspannenden jungen Mannes auf 800 Pf. an.

doch im Flußspath, Kryolith, Topas, der Flußsäure und andern Materien hypothetisch annimmt, und der in seinen chemischen Beziehungen am meisten Aehnlichkeit mit dem Chlor hat. Seine wichtigsten Verbindungen sind folgende:

Die *Flußsäure* (18,6 Fluor und 1 Wasserstoff) durch Destillation von Flußspath (Fluorcalcium) mit Vitriolöl in Gefäßen von Blei oder Platin in wasserfreiem Zustande dargestellt, ist eine wasserhelle Flüssigkeit von 1,0609 specifischem Gewichte, bei -20° noch nicht gefrierend, an der Luft rauchend, etwas über $+15^{\circ}$ kochend, von geringer lichtbrechender Kraft, und von stechendem Geruch, deren Dämpfe beim Einathmen der Lunge höchst nachtheilig sind, und welche auf der Haut heftige Entzündung und Vereiterung mit Wundfieber erregt. Sie bildet mit Kalium und mehreren andern Metallen, unter Freiwerden des Wasserstoffes, Fluormetalle; desgleichen mit Kalk, Kieselerde u. s. w. unter Bildung von Wasser. Hierauf beruht das Aetzen in Glas; denn da dieses neben Alkali größtentheils aus Kieselerde besteht, so zersetzt sich die Flußsäure damit in Fluorsiliciumgas, Fluorsiliciumnatrium und etwas Wasser.

Dieses *Aetzen in Glas*, welches durch geringe Uebung zu einer großen Fertigkeit gebracht werden kann, und zur Verfertigung von allerlei Scalen von großem Nutzen ist, geschieht zwar auch durch Anwendung der liquiden Flußsäure, leichter und schneller aber mit flußsauren Dämpfen auf folgende Weise. Das zu ätzende Glas muß zuvor bestens gereinigt seyn, was am leichtesten mit frischer Holzasche und Wasser geschieht, indem man es hiermit abreibt, dann mit reinem Wasser abspühlt und mit einem reinen leinenen Lappen trocknet. Hiernach wird das Glas über Kohlen erwärmt, und mit einem Deckfirniß überzogen¹, welcher nur dünn aufzutragen ist, indem man ihn der Gleichförmigkeit wegen auch mit der Fahne einer Rabenfeder aus einander ziehen kann. Den Firniß kann man sich für viele Jahre in Voraus bereiten. Zu diesem Ende schmelzt man 2 Th. weißes Wachs, 1 Th. Mastix, $\frac{1}{2}$ Th. Asphalt und fast $\frac{1}{2}$ Th. venet. Terpentin bei sehr gelindem Feuer in einem

1 Das Decken des Glases mit Blattgold oder bloßem Wachs ist theils mühsamer, theils minder sicher, und wird daher hier nicht weiter berücksichtigt.

neuen Topfe, erhält die Masse wohl eine halbe Stunde bei gelinder Wärme im Flufs, damit der Schmutz zu Boden fällt, giefst den obern Theil der Masse in ein Gefäß mit kaltem Wasser, worin sie sich zu einem unförmigen Klumpen vereinigt, formt einen solchen mit den Fingern zu einer Kugel von der Gröfse eines kleinen Hühnereies, schlägt diese in ein Läppchen von Taffent, und bindet die Ränder des Taffents zu einer Art Stiele zusammen, in welchen man des bequemern Anfassens wegen auch einen kleinen hölzernen Stab senken kann. Beim Gebrauche wird die eingeschlagene Masse Firnis durch das erwärmte Glas hinlänglich flüssig, um durch den Taffent zu dringen, und sich auf das Glas zu legen, insbesondere wenn man das Ueberziehen über Kohlen vornimmt. Nach dem Erkalten des Firnisses kann das Radiren der erforderlichen Striche, Buchstaben, Figuren u. s. w. mit jedem beliebigen metallenen, spitzeren oder stumpferen Instrumente, am besten einem stählernen, in der erforderlichen Feinheit oder Breite leicht bewerkstelligt werden, und man überzeugt sich davon, daß der Firnis ganz durchschnitten sey, wenn man das Glas gegen das Licht hält, und den eigenthümlichen Glanz der radirten Stellen beobachtet. Demnächst wird der Flufsspath gepulvert, in einen gemeinen hessischen, Graphit-, Platin- oder bleiernem Tiegel oder nur einen irdenen Topf geschüttet und mit gleichviel Vitriolöl befeuchtet, wobei man, wenn Glasröhren oder schmale Scalen zu ätzen sind, den Tiegel mit zwei Bretchen bedecken kann, um zwischen diesen den erforderlich breiten Raum zum Aufsteigen der flufssauren Dämpfe zu lassen. Der so vorgerichtete Tiegel wird über gelindem Kohlenfeuer erhitzt, worauf man bald die weißlichen Dämpfe aufsteigen sieht. In diese wird das zu ätzende Glas gehalten, bis es etwas feucht wird, und die radirten Stellen nicht mehr glänzend, sondern blind und etwas weißlich erscheinen. Wird das Ätzen zu lange und bei zu starker Gasentwicklung fortgesetzt, so dringt die Säure unter den Firnis, und macht auch die bedeckten Stellen rauh. Glaubt man aber, daß tief genug geätzt sey, so erwärmt man das Glas wieder, reinigt es von dem Firnis durch Abwischen mit Fliespapier, wobei man auch etwas Terpentinspiritus zu Hülfe nehmen kann, und die Arbeit ist vollendet. Will man die Scalen deutlicher machen, so kann man etwas Tusche mit Wasser in die Vertiefungen einreiben, gewöhnlicher

aber befeuchtet man etwas Zinnober mit einigen Tropfen Terpentinspiritus, reibt dieses mit dem Finger in die Scale ein, und kann zuletzt auch noch etwas trocknen Zinnober mittelst Baumwolle nachtragen, wodurch das Glas nebst der Scale ein lebhafteres und feineres Ansehen erhält. Durch langen Gebrauch und vieles Reinigen wird der Zinnober aus den Vertiefungen der Scale entfernt, kann aber durch das angegebene Verfahren wieder hergestellt werden. Endlich füge ich dieser Anweisung noch hinzu, daß am besten das ganze Glas, worauf geätzt werden soll, mit Firniß bedeckt wird, damit die Säure es nicht irgendwo blind mache, desgleichen daß das Schmelzen des Aetzgrundes durch zu starke Hitze zu vermeiden ist, auch muß man vorsichtig das Einathmen der sauern Dämpfe vermeiden, weswegen die Arbeit am besten an einem Orte vorgenommen wird, wo ein schwacher Luftzug dieselben von dem Operirenden entfernt¹.

Die Flußsäure mischt sich mit Wasser unter heftiger Erhitzung, und zwar mit solcher Verdichtung, daß das Gemisch bei einem gewissen Verhältnisse ein specifisches Gewicht von 1,250 zeigt. Sie bildet mit denjenigen Salzbasen, mit welchen sie sich nicht sogleich in Fluormetall und in Wasser zersetzt, die flußsauren Salze, welche beim stärkern Erhitzen meistens ebenfalls in Fluormetalle und verdampfendes Wasser zerfallen. Dieselben entwickeln mit Vitriolöl flußsaure Dämpfe, welche das Glas angreifen; sie lösen sich sobald die Salzbasis nicht vorherrscht, in Wasser auf; auch sind viele derselben unter einander zu Doppelsalzen verbindbar.

Des *Fluorborons* ist Bd. I. S. 1100 Erwähnung geschehen. Die Verbindungen des Fluors mit den Metallen, die *Fluormetalle*, kommen theils natürlich vor, theils werden sie durch Zusammenbringen von Flußsäure mit einem Metalle oder Metalloxyde erhalten. Sie zeigen nie Metallglanz und sind meistens leicht schmelzbar und das Fluorsilicium ist sogar gasförmig. Sie erleiden keine Zersetzung, für sich oder mit Kohle oder mit wasserfreier Phosphorsäure geglüht. Beim Glühen mit Boraxsäure entwickeln sie Fluorborongas, und beim Erhitzen mit wasserhaltender Schwefelsäure dampfförmige Flußsäure. Mehrere lösen sich in Wasser auf, öfters unter Abscheidung eines

¹ Vergl. Lichtenberg im Gött. Taschenkalender 1789. S. 138.

Theils erzeugten Metalloxyds, so dafs dann die Lösung überschüssige Flußsäure enthält.

So wie beim Chlor läßt sich auch beim Fluor die Ansicht durchführen, die Flußsäure, so wie sie durch Destillation des Flußspathes mit Vitriolöl erhalten wird, sey eine Verbindung von Wasser mit einer hypothetisch trockenen Flußsäure, welche aus Sauerstoff und einem hypothetischen brennbaren Körper, dem Fluorium oder Fluoricum bestehe; der Flußspath wäre hiernach eine Verbindung von Kalk mit der hypothetisch trockenen Flußsäure, welche Säure, da sie mit sehr großer Affinität gegen die Salzbasen begabt sey, unter allen trockenen Säuren bloß durch die trockene Boraxsäure ausgetrieben werden könne, sofern hierbei die trockene Flußsäure mit einem Theile der angewandten Boraxsäure eine innige Verbindung zu flußboraxsaurem Gas (unserm Fluorboron) einzugehen vermöge. Vitriolöl zersetze den Flußspath, weil dessen Wasser sich mit der hypothetisch trockenen Flußsäure zu der oben beschriebenen liquiden Flußsäure vereinige, während die Schwefelsäure den Kalk aufnehme. Nach dieser Ansicht wären endlich alle Fluormetalle, namentlich auch das Fluorsilicium, als Verbindungen der hypothetisch trockenen Flußsäure mit Metalloxyd zu betrachten.

G.

F l u f s .

Fluxus; Flux; Flux. Mit diesem Ausdrücke belegt man

1. den geschmolzenen Zustand einer Materie. Man spricht z. B. von einem dünnen und zähen Flufs, desgleichen von einem wässerigen und einem feuerigen Flufs, in welchen verschiedene Materien durch Erhitzen kommen.

2. Auch versteht man unter Flufs oder Glasflufs mehrere feine Gläser, die besonders zum Nachahmen der Edelsteine dienen, wohin der *Straßburger Flufs* gehört.

3. Endlich nennt man solche Materien Flüsse oder Flufsmittel, Schmelzungsmittel oder die Schmelzung befördernde *Zuschläge*, welche dienen, strengflüssigere Körper dadurch schmelzbar zu machen, dafs sie sich mit ihnen zu einer leichtflüssigen Verbindung vereinigen. Um z. B. die Kieselerde, die vielen Erzen beigemischt ist, schmelzbar zu machen, fügt man alkalische Substanzen hinzu, im Kleinen vorzüglich kohlen-saures Kali und Natron, Borax, Salpeter, gebrannten Kalk,

Flussspath, Glas, oder Gemenge von diesen Substanzen; im Großen kohlen sauren Kalk, Flussspath u. s. w. Umgekehrt dient Kieselerde als Fluß, wenn das Erz Kalk enthält. Beim Gattiren der Erze werden Erze, denen verschiedenartige für sich bei dem gegebenen Feuer unschmelzbare Erden (z. B. einerseits Quarz und Thon, andererseits Kalkstein und Schwerspath) beigemengt sind, in dem Verhältnisse zusammen verschmolzen, daß sich diese Beimengungen wechselseitig schmelzbar machen, und es wird somit ein weiterer Zusatz an Fluß erspart. Hält ein Fluß Kohle beigemengt, welche dem im Erze enthaltenen schweren Metalloxyde den Sauerstoff zu entziehen hat, so heißt er ein *reducirender* Fluß. Hierher gehört der im Kleinen gebräuchliche *schwarze Fluß*, durch Verpuffen von 1 Theil Salpeter mit 2 Theilen Weinstein erzeugt, während der aus gleichen Theilen dieser Mittel erhaltene *weiße Fluß* durch Gehalt an überschüssigem Salpeter oxydirend wird. G.

Fluß, S. Strom.

Fluth, S. Ebbe.

Folge der Zeichen.

Ordo signorum coelestium, Consecutio signorum; Ordre des signes; *Order of the Signs*, ist zunächst nichts anderes, als die Ordnung der Zeichen in der Ekliptik, wo nämlich der Widder dem Stiere, dieser den Zwillingen vorangeht, und so fort. Diese Ordnung ist die richtige Folge der Zeichen in sofern, als die Sterne des Widders früher als die Sterne des Stiers, die Sterne des Stiers früher als die Sterne der Zwillinge durch den Meridian gehen. Man sagt daher von einem Gestirn, es bewege sich nach der Ordnung der Zeichen, nach der Folge der Zeichen (*in consequentia*) oder sey *rechtläufig* (*directus*), habe eine rechtläufige Bewegung (*motus directus, mouvement direct; forward or direct motion*), wenn es von einem Zeichen zu dem ihm, jener Ordnung gemäß, *folgenden* Zeichen übergeht, oder wenn die Längengrade auf der Ekliptik nach eben der Ordnung fortgezählt werden, indem die Länge des Gestirns (es mag nun n oder außer der Ekliptik sich bewegen) wächst. Ein Himmelskörper bewegt sich *gegen* die Folge der Zeichen, (*in an-*

tecedentia seu praecedentia), wenn er aus dem Stier in den Widder, aus dem Widder in die Fische u. s. f. übergeht, wenn seine Länge abnimmt; und dann heist seine Bewegung rückläufig (*retrogradus, motus; mouvement retrograde; a backward motion*). Wenn wir, mit dem Gesichte nach Süden gekehrt, den Himmel ansehen, so steht jedes folgende Zeichen der Ekliptik uns mehr links, und die Folge der Zeichen geht daher von der Rechten zur Linken. Denken wir uns im Mittelpuncte der Erde, und stellen uns vor, wir übersähen von dort aus den ganzen Himmel, so würde, wenn unser Kopf stets nach Norden gerichtet bleibt, allemal das vorangehende Gestirn mehr rechts, das nachfolgende mehr links, vor uns stehen.

Betrachtet der im Mittelpuncte der Erde stehende Beobachter die Punkte auf der Oberfläche der Erde, so sieht er diese, vermöge der Rotation, nach der Folge der Zeichen fortrücken, und folglich stimmt die Umdrehung der Erde mit der Ordnung der Zeichen überein. Wenn wir dagegen von der Erde aus die Rotation der Sonne beobachten, so sehen wir ihre Flecken nach und nach von Osten nach Westen, oder von der Linken gegen die Rechte fortrücken; aber dennoch ist diese Bewegung in der Wirklichkeit eine rechtläufige, das heist, einem Beobachter im Mittelpuncte der Sonne erscheint eben diese Bewegung nach der Folge der Zeichen. Könnten wir nämlich den Sonnenfleck auch an der von uns abgewandten Seite der Sonne seine Bewegung fortsetzen sehen, so würde sie uns da von der Rechten nach der Linken gehend, ebenso, wie ein Beobachter im Mittelpuncte C, der Sonne sie sähe, erscheinen, wo-
 Fig. 76. von man sich leicht durch den Anblick der Figur überzeugt, wenn man den Beobachter auf der Erde sich in A denkt, und den von b nach b', b'', b''', b''''', b''''''', fortgehenden Sonnenfleck verfolgt. Aus eben den Gründen würde, selbst wenn die Erde in A ruhete, die Venus b in dem nähern Theile ihrer Bahn als rückläufig erscheinen, in dem entferntern als rechtläufig. Eben so sehen wir die Jupitersmonde, wenn sie diesseits des Planeten vorbeigehen, in scheinbar rückläufiger Bewegung, und schliessen daraus auf ihre wirklich rechtläufige Bewegung.

Wie es zugeht, daß auch bei den oberen Planeten eine

scheinbar rückgängige Bewegung eintreten kann, wird im Art. *Planeten*, erklärt; der Beweis, daß auch der Mond eine nach der Folge der Zeichen gehende Rotation habe, im Art. *Mond*.
B.

Friction, S. Reibung.

F r o s t.

frigus; gelu; gélée, frost. Die Temperatur der Luft, bei welcher Wasser im Freien gefriert, im Allgemeinen gleichbedeutend mit *Kälte*. Wenn diese jedoch mehr eine andauernde Beschaffenheit der Witterung bezeichnet, so werden unter *Frost* meistens nur die geringeren Grade einer zufälligen Kälte verstanden, wie sie in gelindern Jahreszeiten statt findet. Oft auch wird das Wort für den Actus des Gefrierens, und die Wirkung derselben gebraucht.

Vom *Gefrieren* und den damit verbundenen Erscheinungen ist oben beim Art. *Eis*¹ die Rede gewesen. Wir erwähnen hier vornehmlich der *Nacht- oder Morgenfröste*, die im Frühling oder Herbst sich einfinden, und durch das Ungewöhnliche und Unvorbereitete ihres Eintreffens den Gewächsen in vorzüglichem Grade verderblich werden. Sie sind gemeinlich die Folge einer durch anhaltenden Regen, und in den Gebirgen wohl auch durch Schneefall bewirkte Erkältung der Atmosphäre. Indem der, während des Regens im westlichen Europa vorherrschende, Westwind allmählig nach Norden umgeht, wird eine trockenere Luft herbeigeführt; es erfolgt Aufheiterung, und wenn diese des Nachts oder am Morgen früh eintritt, eine beträchtliche Wärmeausstrahlung des Bodens, deren erkältende Wirkung noch durch den Verdunstungs-Proceß der feuchten Erde und der nassen Pflanzen erhöht wird. Geht die Temperatur unter $+2^{\circ}$ R. herab, so bildet sich *Reif*, der jedoch den inländischen Gewächsen wenig schadet; indem das Geistige ihres Saftes selbst einer Kälte von -1 bis 2 Graden widersteht. Das anhängende und eingesogene Wasser beschleunigt jedoch das Gefrieren, daher solche Temperatur-Wechsel nach dem Regen viel bedenklicher sind, als bei trockenem Wetter. Besonders nachtheilig wird dann das plötzliche Aufthauen des

S. Th. III. S. 99 ff.

Eises durch die Strahlen der Morgensonne, indem die von dem gefrorenen Wasser ausgedehnten Gefäße sich nicht wieder allmählig zusammenziehen und ihre frühere Organisation herstellen können. Die plötzliche Erwärmung reizt die Pflanze zu einem erneuerten Kreislaufe der Säfte auf, ehe diese vom Hauptstamme zugeführt werden können. Daraus erfolgt Ueberreizung und Absterben der zärteren Theile des Gewächses. Oft auch bewirkt, zumal ein starker Winterfrost, mechanisch durch die Ausdehnung der gefrierenden Flüssigkeit das Zerspringen der Gefäße, und spaltet selbst die Stämme der Bäume.

Der bedeutende Schaden, welchen in den nördlichen Gegenden der gemäßigten Zone, die Frühlingsfröste an verschiedenen, einem milderen Klima angehörigen Gewächsen, z. B. dem Weinstock anrichten, hat schon verschiedene Vorschläge in Anregung gebracht, wie diesem Ereigniß, das nicht immer ganz unvorgesehen kommt, zu begegnen sey. Man hat angerathen, auf der einen Seite des Weinberges ein starkrauchendes Feuer anzuzünden, da dann der Wind den feuchten Rauch über jenes Stück Landes verbreiten, und dieser die Kälte mäßigen würde. Allein bei Windstillen fällt jene Voraussetzung weg, und dann zumal sind die Fröste gerade am heftigsten. Eben so sollte eine Art künstlicher Regen durch Bespritzen mit Wasser die Kälte absorbiren. Allein diese Vorschläge gewähren immer nur eine sehr partielle und höchst ungewisse Hülfe; die Hauptsache ist, die Wärme-Ausstrahlung der Pflanzen zu verhindern, welche sie in eine noch niedrigere Temperatur versetzt, als die umgebende Luft hat. Ohne diese, erst durch WELLS's Untersuchungen über den Thau thatsächlich erwiesene Theorie zu kennen, hat die Erfahrung einige Agrocultoren auf die Idee gebracht, die einzelnen Pflanzen mit einem darüber aufgesteckten Strohwich, der sich mantelförmig über sie ausbreitet, zu schützen, oder auch ganze Pflanzungen durch Tücher, welche an hohen Stangen theilweise über dieselben ausgebreitet werden, vor dem directen Anblick des Himmels zu verwahren. Eben diese Verdeckung scheint auch dem Vorschlage der Obstplanzer zum Grunde zu liegen, das man die Pfirsichspaliere mit Tannenreisig bestecken solle, um die schädlichen Wirkungen des Frostes abzuhalten.

H.

F r o s t d a m p f.

Von dieser Erscheinung, die hauptsächlich in den Polar-meeren sich zeigt, ist in diesem Werke bereits beim Art. *Eis*¹ das Nöthige beigebracht worden. Sie scheint durch eine plötzliche Temperatur-Erniedrigung der Luft hervorgerufen zu werden, und ist ein Niederschlag der aus dem wärmeren Wasser entwickelten Dünste, besonders wenn diese durch Bewegung des Wassers im Uebermafs hervorgehoben werden. Daher zeigt sich der Frostdampf auf dem Meere nur bei frischem Winde, und bildet daselbst eine für die Seefahrer eben so unangenehme als gefährliche Nebelschicht von etwa 80 Fufs Höhe. Auf den Flüssen erscheint er gemeinlich des Abends, wenn die Kälte sich verstärkt. Auf den gewöhnlichen Seen findet er sich nicht, weil dort zu seiner Bildung Wind erforderlich wäre, welcher bei der geringen Ausdehnung solcher Gewässer den Nebel bald entführen würde.

H.

F r ü h l i n g.

Frühjahr, *Lenz*; *Ver*; Printems, *Spring*. Eine der vier Jahreszeiten, die im Deutschen (wie im Englischen) von der alsdann sich erneuernden Pflanzenwelt ihren Namen zu haben scheint. Der Frühling folgt dem Winter; wenn es Frühling wird, so keimen alle Pflanzen hervor, die Bäume bekommen junges Laub, Blüthen u. s. w.

Der Anfang des Frühlings wird dann gerechnet, wenn die Sonne sich über den Aequator des Himmels erhebt, und daher ist es auf der ganzen nördlichen Halbkugel der Erde Frühlings - Anfang, wenn die Sonne in die nördlichen Zeichen der Ekliptik tritt, oder sich im Nullpuncte des Widlers, im Puncte der Frühlings - Nachtgleiche befindet, welches um den 20. März geschieht. Dann ist der Tag der Nacht gleich, und die Tage sind im Zunehmen. Der Frühling dauert bis zu dem längsten Tage, da die Sonne ihre größte nördliche Declination erreicht hat; sie befindet sich dann im Nullpuncte des Krebses, sie erreicht ihren höchsten Stand am Himmel und es ist *Sommers Anfang*. Auf der südlichen Halb-

¹ S. Th. III. S. 142.

kugel der Erde steht die die Sonne dann am tiefsten, wenn sie uns am höchsten steht; daher ist dort Frühlings - Anfang um den 23. Sept. und der dortige Frühling dauert bis zum 21. Dec., wo die Sonne dort ihren höchsten Stand erreicht.

Diese Bestimmung gilt nur für die gemäßigte, und mit gewissen Modificationen für die kalte Zone. In der heißen Zone befolgen die Jahreszeiten eine andere, besonders von der Regenzeit abhängende, Ordnung, und da es dort keinen eigentlichen Winter, keine so auffallende Unterbrechung der Vegetation giebt, so lassen sich unsere Ausdrücke, welche auf Gegenden, die weit von der heißen Zone entfernt liegen, eingerichtet sind, dort nicht gerade zu gebrauchen.

Obgleich wir aber im astronomischen Sinne den Anfang und das Ende des Frühlings als an gewisse Tage geknüpft ansehen, so ist doch der meteorologische Eintritt des Frühlings davon oft sehr verschieden. Allerdings ist die Zeit der Nachtgleiche ungefähr auch der Zeitpunkt, wo bei uns angenehme, milde Witterung, Frühlingswitterung, eintritt; aber dennoch kann sich der Winter eben so gut über diesen Zeitpunkt hinaus verlängern, als von der andern Seite, ein früher Frühling, schon vor jenem Zeitpuncte eintreten kann. *B.*

Frühlingsnachtgleiche.

Aequinoctium vernum; Équinoxe du printemps; Vernal Equinoxe. Die Zeit der Frühlingsnachtgleiche ist der Augenblick, da die Sonne den Durchschnittspunct der Ekliptik und des Aequators erreicht, von welchem an sie sich nördlich vom Aequator entfernt, und den Anfang unsers Frühlings hervorbringt. Da die Sonne dann für die ganze Erde im Aequator des Himmels erscheint, und ihr Tagekreis mit dem Aequator zusammenfällt, so verweilt sie für alle Gegenden der Erde gleichmäfsig 12 Stunden über und 12 Stunden unter dem Horizonte. *B.*

Frühlingspunct.

Punct der Frühlingsnachtgleiche, Widerpunct, erster Punct, oder Nullpunct des Widders; *Punctum aequinoctii verni,*

Punctum primum arietis; Équinoxe du Printems, Premier point du belier; the aequinoctial Point. — Derjenige Durchschnittspunct der Ekliptik mit dem Aequator, in welchem die Sonne anfängt, sich nördlich von der Ekliptik zu entfernen. Die Sonne erreicht diesen Durchschnittspunct allemal um den 21. März und die Einrichtung unserer Schaltjahre dient dazu, diesen Tag mit jenem Phänomene zusammenstimmend zu erhalten. Da von hier an die Grade der Ekliptik gezählt werden, und der Widder, als die ersten 30 Grade einnehmend, angegeben wird, so ist jener Punct der Anfangspunct oder Nullpunct des Widders, oder $0^{\circ} \varphi$.

Dafs dieser Punct in sehr alter Zeit in das Sternbild des Widders fiel, aber sich jährlich um etwas wenig, immer mehr davon entfernt, wird im Art. *Vorrücken der Nachtgleichen* weiter erklärt werden. Wie es mit großer Genauigkeit gefunden wird, zeigt BESSEL bei der Berechnung von BRADLEY'S Beobachtungen¹. Seine jetzige Lage ist zwischen dem Schwanze des südlichen Fische und dem Schwanze des Wallfisches. Die Grade des Aequators sowohl als die Grade der Ekliptik werden von ihm an nach der Folge der Zeichen² fortgezählt. B.

Funke, elektrischer.

Scintilla electrica; Étincelle électrique; Electrical spark. Die bei der elektrischen Wechselwirkung zwischen zweien Körpern in den Zwischenräumen zwischen denselben Statt findende, und durch diese elektrische Wechselwirkung selbst wesentlich bedingte schmale, zusammengehaltene, cylindrische Lichterscheinung, welche auch bei Tage sichtbar von einem knisternden Laute begleitet ist, und augenblicklich vorübergeht, wird mit dem Namen des *elektrischen Funkens* bezeichnet.

Es ist bereits von demselben, als einer der Formen, unter welcher sich die E. von einem Körper an den andern mittheilt, unter dem Artikel „*Elektricität*“ und zwar in dem Abschnitte „*Mittheilung*“³ und auch unter dem Artikel „*Elektrisir-*

¹ Fundamenta astronomiae pro anno 1755 deducta ex observat. cel. Bradleyi. Regiom. 1818.

² S. Art. *Folge der Zeichen*.

³ S. Bd. II. 268.

Maschine“ in dem Abschnitte „*Wirkungen derselben*“¹ im allgemeinen gehandelt worden. Hier mögen noch einige an diesen beiden Orten übergangene Bestimmungen dieses merkwürdigen Phänomens nachträglich am besten ihren Platz finden.

I. Die Erfahrungen.

Die el. Lichterscheinungen sind sehr mannigfaltig von Ansehen und Form, und in ihrem schnellen Vorübergehen kaum stets mit Bestimmtheit aufzufassen. Es sind in dieser Hinsicht eine Menge Stufen von dem ersten Auftreten eines leckenden el. Lichtes, welches einen entweder ursprünglich vorzüglich durch Reiben oder durch Mittheilung el. Körper umgiebt, und gleichsam an demselben mehr haftet, durch die einfachen oder mehr büschelförmigen Ausstrahlungen und Feuerpinsel von den verschiedensten Graden der Ausbreitung bis zu den stärksten Funken, verbunden mit den mannigfaltigsten Modificationen des *Glanzes*, der *Farbe*, und des dieselben begleitenden *Geräusches*, die theils durch die verschiedene Intensität, Quantität und Qualität der Elektrizität selbst, theils durch die Form, Ausdehnung und sonstige Beschaffenheit der Körper, an welchen die E. auftritt, endlich durch die Ausdehnung und Beschaffenheit des Zwischenraumes, in welchem die Lichterscheinung vorkommt, bestimmt werden, dergestalt, daß die kleinste Abänderung in diesen Umständen eine Modification dieses beweglichsten aller el. Phänomene bedingt.

NICHOLSON² hat in einem kleinen Aufsätze eine Menge solcher sich mannigfaltig verändernder Lichterscheinungen beschrieben, deren Veränderung theils durch die Schnelligkeit, mit welcher die Maschine gedreht wurde, und die davon abhängende Intensität der die Lichterscheinung zeigenden Kugel, theils durch die Größe dieser Kugel, und die verschiedene Entfernung, in welcher eine Spitze derselben entgegengehalten ward, bestimmt wurden. Das besonders merkwürdige hierbei war, eine el. *Licht-Atmosphäre* oder ein heller Kreis leckenden Lichtes rund umher an der Oberfläche der 2,5 Zoll im Durchmesser haltenden Kugel mit ausfahrenden Büscheln, wenn eine Spitze in großer Entfernung

¹ S. Bd. III. 457.

² G. XXXII. 106.

gehalten wurde, bei deren Annäherung die Büschel verschwanden, und ein ausnehmend glänzender Fleck an der Oberfläche der Kugel zum Vorschein kam, der manchmal an einer Stelle blieb, andere Male sich umher bewegte, bis endlich bei noch größerer Annäherung aus diesem Fleck *ramificirte Funken* ausstrahlten und ein leckender, leuchtender, Kreis erschien, wobei der glänzende Fleck nie im Mittelpuncte dieses Kreises war, sondern in einiger Entfernung rund um den Kreis sich bewegte, unregelmäßig, manchmal nach einer, andere Male nach entgegengesetzter Richtung, manchmal auch ganz still stand.

Ich habe diese Beobachtungen absichtlich an die Spitze dieses Artikels gestellt, um das Wandelbare, und in bestimmten Darstellungen schwer zu fixirende in diesen el. Lichterscheinungen recht klar zu machen. So lassen sich dann auch die Funken kaum durch eine scharfe Grenzlinie von den ihnen in einigen ihrer Modificationen so nahe stehenden el. Ausstrahlungen, Büscheln und Pinseln trennen, wenn gleich da, wo sie in ihrer reinsten Form auftreten, kein Zweifel über die Eigenthümlichkeit dieser el. Lichterscheinungen obwalten kann. In dieser reinsten Form erscheinen sie als ein gerader, glänzender, weißer, plötzlich vorübergehender, Lichtcylinder mit einem eigenthümlichen Knalle bei der Ausgleichung der an einem vollkommenen Leiter angehäuften $+$ oder $-$ E von der abgerundeten Oberfläche desselben aus gegen einen demselben genäherten, in seinem natürlichen el. Zustande sich befindenden, gleichfalls eine abgerundete Oberfläche darbietenden, vollkommen mit dem Erdboden verbundenen Leiter, also unter den für die Wiederherstellung des el. Gleichgewichts günstigsten Bedingungen, und zwar in einer Weite, die nach der Beschaffenheit und Intensität der an dem Leiter angehäuften E., der Ausdehnung desselben und dem Durchmesser der kugelförmigen Oberfläche seines Endes eine verschiedene ist. Das Nähere über den Einfluss dieser Umstände auf die Länge des Funkens oder die sogenannte *Schlagweite* ist schon unter dem Artikel „*Elektrisir-Maschine*“ angeführt worden. Man hat viel darüber gestritten, von wo aus bei der Ausgleichung der E. einerseits zwischen einem positiv elektrisirten und einem im natürlichen Zustande sich befindenden, andererseits zwischen einem negativ elektrisirten und einem andern im natürlichen Zustande sich befindenden, endlich zwischen einem positiv und einem

negativ elektrisirten der Funke ausgehe. Wenn man nach den am allgemeinsten angenommenen Ansichten den Funken als eine wirkliche Mittheilung und einen Uebergang einer el. Materie ansieht, so würde nach der Franklin'schen Theorie in dem ersten und dritten Falle dieser Uebergang von dem positiv elektrisirten, in dem 2ten von dem im natürlichen Zustande sich befindenden Körper statt finden, und hier also die Entstehung des Funkens ihren Anfang nehmen, nach der Theorie zweier Materien dagegen in allen drei Fällen von beiden Körpern aus gleichmäßig ein Funke ausgehen, auch dieser Funke in seiner ganzen Beschaffenheit für jede der beiden E. ein eigenthümlicher seyn, wobei jedoch das verschiedene Isolirungsvermögen des jedesmaligen Mediums für die verschiedenen E. so wie die verschiedene relative Intensität und Quantität derselben einen Unterschied in Ansehung der Weite, bis zu welcher in diesem *Zusammenstrahlen* die eine E. der andern entgegen kommt, veranlassen könnten.

Die Erscheinungen selbst sind in dieser Hinsicht nicht ganz entscheidend, wenn sie gleich im Ganzen der dualistischen Ansicht günstiger sind. Wenn nämlich in dem Funken ein *wirkliches* el. Fluidum von dem einen Körper zum andern übergeht, so müßte bei dem gleichmäßigen Widerstande, den die Luft von allen Seiten entgegengesetzt, dieses Fluidum als ein kleiner sphärischer Körper übergehen und wie ein leuchtendes Kügelchen erscheinen. Die Geschwindigkeit des Ueberganges ist aber so groß, daß der ganze Weg auf einmal zu leuchten scheint, und eben darum die Erscheinung einen Lichtcylinder darstellt. Eben diese Geschwindigkeit macht es aber auch, wenigstens bei den kurzen und geraden Funken, die bei hinlänglicher Annäherung der Leiter an einander überschlagen, ganz unmöglich, den Entstehungspunct des Funkens und seine Richtung und in ihm selbst einen Gegensatz zweier E. zu unterscheiden. Anders verhält sich die Erscheinung, wenn die Funken, bei größerer Entfernung der Leiter von einander, überspringen. In diesem Falle sind sie nicht mehr gerade, sondern stets *geschlängelt* oder eigentlich *zickzackförmig*, und bei sehr wirksamen Elektrisir-Maschinen, aus deren Conductoren, wie schon oben bemerkt, Funken von 12—24 Par. Zoll und bis zur Dicke eines Federkiels auf die Auffangkugel überschlagen, sieht man aus den Hauptfunken Feuerbüsche nach

allen Seiten ausstrahlen. Das Zickzackförmige der Funken hat man aus den feuchten oder leitenden Theilen herleiten wollen, die in der Luft nahe an ihrem Wege liegen, und auf die sie zugehen, um den Weg zu wählen, wo sie den wenigsten Widerstand antreffen. Aber bei der Constanz und Gleichförmigkeit dieser gebrochenen Zickzackform läßt sich eine so wandelbare und zufällige Ursache nicht annehmen, vielmehr scheint das mit großer Schnelligkeit sich bewegende el. Fluidum die ihm entgegenstehende Luft zu verdichten, die ihm also in gerader Richtung mehr Widerstand leistet, als seitwärts, weswegen es dann seinen Lauf ändert, die Luft auf diese Art in einer neuen Richtung verdichtet, und von ihrem Widerstande abermals gewendet wird, welche wechselnde Bewegungen nothwendig jene zickzackförmigen Erscheinungen bewirken müssen, ganz auf dieselbe Art wie die Zickzackform des Blitzes erklärt wird. Auf dem kürzeren Wege erreicht das el. Fluidum dagegen sein Ziel, ehe eine hinlängliche Verdichtung zur Ablenkung desselben bewirkt worden ist.

In den längern el. Funken unterscheidet man eine Ungleichheit des Lichtes, die einigermassen von dem Gegensatze der E. abzuhängen scheint. Doch stimmen die Angaben der Beobachter in dieser Hinsicht nicht vollkommen mit einander überein. HILDEBRAND, der überhaupt viele Versuche über das el. Licht angestellt hat¹, glaubt², daß ein größerer Funke im größten Theile seines Weges von $+E$ hinfahre, aber nahe an $-E$ ihm ein kleinerer Funke entgegenkomme. Wo sie zusammentreffen, sey das Licht am stärksten und violett, das übrige weiß. Bis auf einen gewissen Grad stimmt auch KNOCH³ damit überein, welchem zufolge in jedem Funken sich stets eine Stelle findet, welche violett, ins Kupferfarbige übergehend ist, und sich von der übrigen Feuerfarbe des Funkens unterscheidet, in welchem Violett sich die beiden aus dem Conductor und dem Auslader gleichmäfsig hervorbrechenden Funken vereinigen sollen, und zwar soll das Violett bald in der Mitte, bald dem Leiter und bald dem Auslader sich näher finden, nämlich bei überwiegender negativer E. (was jedoch nie mög-

1 Schweigg. Journ. I. 237. XI. 437.

2 Dynamische Physik II. 761.

3 G. XXIV. 104.

lich ist, wenn ein positiv el. Leiter mit einem im natürlichen Zustande befindlichen Auslader in Wechselwirkung tritt, von welchem Falle doch allein КНОСН handelt) dem Conductor näher als dem Auslader, und in diesem Falle soll der Funke von diesem aus überzuspringen scheinen, bei überwiegender positiver E. dagegen näher dem Auslader. Mir scheint dagegen bei längeren Funken, die zwischen dem positiven Conductor und der gewöhnlichen Auffangkugel überschlagen, die gegen den positiven Conductor gekehrte gröfsere Hälfte des Funkens mehr purpurfarbig oder röthlich violett, die nach der Auffangkugel, also nach der negativen Seite hin, gekehrte Hälfte mehr blau, wobei auf dieser Seite der gröfsere Glanz des Funkens zum Vorschein kommt, der jedoch am häufigsten in irgend einer Stelle zwischen den beiden Körpern auftritt. Bisweilen ist die Licht-Continuität in der einen oder der andern Stelle des Funkens unterbrochen; die scheinbare Beziehung der entgegengesetzten Farben auf die entgegengesetzten E. hat indess RITTER¹ als eine constante gesetzmäßige Verknüpfung, jedoch auf eine entgegengesetzte Weise als nach unserer Darstellung, aufgestellt, und zwar insbesondere für die Funken bei der Entladung von Flaschen und Volta'schen Säulen. Er behauptet nämlich, dafs auf der ersten Stufe, wo bei der Entladung überhaupt ein Funke zum Vorschein kommt, erst ein stilles, rothes, in die Breite flammendes Sternchen erscheine, welches mit zunehmender Spannung gröfser werde, mit geschiedenern, dichteren, häufigeren und längeren Strahlen, worauf in der Mitte des sonnenähnlichen Sterns sich ein blaues Pünctchen oder Kügelchen zeige, welches zunehme, während die Ausbreitung des Sterns nicht weiter wachse, welches vielmehr endlich von dem wachsenden blauen Kerne verschlungen werde, wobei dann die rothe Farbe des Sterns und die blaue des Kerns immer matter werden, so dafs es scheine, als erlöschten sie zuletzt beide in der einen Mittelfarbe des übrigbleibenden Kugelfunkens. Der blaue Kern in der Mitte soll von gegenwärtiger freier positiver E., der rothe Stern von gegenwärtiger freier negativer E. herrühren. Diese Behauptung unterstützt RITTER noch ferner durch die Beschaffenheit der Funken einer Volta'schen Säule, in denen bei ableitender Berührung des negativen Pols, wenn

¹ G. VI. 26 ff.

sie aus dem positiven Pole ausgezogen werden und folglich das $+$ überwiegt, auch das *Blau*, und im umgekehrten Falle das *Roth* vorherrschend seyn soll, so wie durch das im Auge gesehene blaue Licht, wenn der positive Pol einer Volta'schen Säule, durch das rothe Licht dagegen, wenn der negative Pol auf dieses Organ einwirke. Außerdem will RITTER auch eine spezifische Verschiedenheit in dem Schalle, wenigstens der galvanischen Funken, gemäß ihrer el. Beschaffenheit, bemerkt haben, indem dieser Schall in den gewöhnlichen aus $+$ und $-$ gleichmäßig gemischten Funken, wie sie erscheinen, wenn die Säule ohne Ableitung ist, als ein *Knicksen* erscheine, während die mehr oder auch bloß blauen Funken *knackend*, die mehr oder bloß rothen Funken *zischend* seyn sollen¹. Es würden sich an die Ritter'schen Verknüpfungen sehr gut MORICHINI's Erfahrungen anschließen, der durch die Concentration des violetten Lichtes positive E. erregt fand², dagegen stimmen für die von mir aufgestellte Beziehung mehr die Versuche HELLER's³ über die verschiedenen Funken bei der Entladung einer Leidner Flasche unter verschiedenen Umständen. Entladet man nämlich dieselbe auf die gewöhnliche Weise durch einen metallischen Auslader, der mit der äußern Belegung verbunden dem Knopfe genähert wird, so entsteht bekanntlich ein sehr lebhafter, weißer und stark knallender Funke, setzt man dagegen die Flasche auf das eine Ende eines Streifens nassen Papiers oder Leinwand von einigen Zollen Länge und den untern Knopf des allgemeinen Ausladers auf das andere Ende, und entladet nun mit dem andern Ende, so ist der Funke roth, klein und sein Schall mehr dumpf. Wird der untere Knopf auf diesem Streifen allmählig der Flasche genähert, so daß die Strecke des unvollkommenen Leiters immer kleiner wird, so geht der Funke durchs Röhliche ins Röhlichweiße über und nimmt auch an Länge und an Stärke des Knalles zu. Setzt man die Flasche auf einen Nichtleiter, z. B. einen Harzkuchen, und den einen Knopf des Ausladers auf denselben und nähert den andern dem Knopfe der Flasche, so sind die Funken einzeln, röhlich, klein, dumpf, und die Entladung geschieht nur höchst unvoll-

1 G. XIII. 30.

2 Schweigg. J. VI. 338.

3 G. VI. 249.

kommen. Knall, Länge und Farbe des Funkens stehen offenbar im Verhältnisse mit einander. Wo also die beiden E. mit der grössten Freiheit sich ausgleichen können, keine das Uebergewicht hat, da ist das Licht weifs, der Funke lebhaft, bei relativem Uebergewichte der positiven E., wie es wenigstens in den angegebenen Versuchen statt findet, verändert sich dagegen das Licht in Roth. Eben so erscheinen Funken, die man durch Kugeln von Holz oder Elfenbein aus positiv el. Leitern auszieht, von carmosinrother Farbe, wo gleichfalls wegen des unvollkommenen Leitungsvermögens der letzteren das + nicht schnell genug sein — zur vollkommenen Ausgleichung vorfindet, und überhaupt haben die durch unvollkommene Leiter ausgezogenen Funken ein purpurfarbenes Ansehen¹.

Am auffallendsten wird aber die Farbe des el. Funkens durch die *Beschaffenheit des Mediums* modificirt. Ich habe in dieser Hinsicht schon unter dem Artikel „*Elektricität*“ die interessanten Versuche DAVY's über die verschiedenen Farben des el. Funkens beim Durchschlagen durch die Torricelli'sche Leere unter verschiedenen Umständen angeführt. Ganz besonders gehören aber hierher die Versuche von GROTHÜSS in verschiedenen Gasarten und Dämpfen². In den Dämpfen des Weingeistes nahm das el. Licht eine herrlich grüne Farbe an und bildete einen seladongrünen Farbenstrom, das schönste Schauspiel im Dunkeln; zugleich verwandelten sich diese Dämpfe in ein permanentes Gas (wahrscheinlich erstes Kohlenwasserstoffgas); auch in Aetherdämpfen sind sie grün, doch soll diese Farbe weifs erscheinen, wenn man das Auge dicht an die Glasröhre hält, und aus einer beträchtlichen Entfernung betrachtet, röthlich³; im Wasserstoffgase haben sie eine schöne purpurrothe Farbe, eben so in verdünnter atmosphärischer Luft. Dafs indess die purpurrothe Farbe nicht blofs von der geringern Dichtigkeit des Wasserstoffgases abhängt, beweiset der Umstand, dafs auch in dem verhältnismässig viel dichteren Ammoniakgas und in dem Phosphor-Wasserstoffgase die Funken gleichfalls noch roth erscheinen. In den Dämpfen des kochenden Wassers zeigt sich der Funke gelb oder pomeranzenfarben,

1 Vergl. Singer S. 60.

2 Schweigg. J. II. 142 ff.

3 Singer a. a. O. S. 60.

im trockenen kohlen-sauren Gase und Sauerstoffgase von dem stärksten Glanze und blau violetter Farbe. In durch eine Quecksilbersäule von zwei Schuhen verdichteter atmosphärischer Luft war der Funke lebhafter, als in gewöhnlicher atmosphärischer Luft und ohne Farbe.

GROTHUSS zieht aus seinen Versuchen den Schlufs, dafs die Intensität (der Glanz) des el. Lichtes stets im directen Verhältnisse mit der Dichtigkeit und im umgekehrten mit der el. Leitungskraft des Gases oder Dampfes stehe, und damit stimmen auch vollkommen H. DAVY's unter dem Artikel „*Elektricität*“ angeführte Versuche überein, welchen zufolge der Glanz des el. Lichtes in der Torricelli'schen Röhre mit der Temperatur zunahm, womit die Dichtigkeit der Dämpfe der sperrenden Flüssigkeit verhältnismäfsig vermehrt wurde, und auch gröfser in denjenigen Dämpfen war, welche als schlechtere Leiter der E. angesehen werden können, als in denjenigen, die bessere Leiter sind, stärker nämlich in den Dämpfen des Olivenöls und Chlorspiefsglanzes, als in denjenigen des Quecksilbers. Was aber insbesondere den Gegensatz der Farben des el. Funkens in diesen verschiedenen elastischen Flüssigkeiten betrifft, so meint SCHWEIGGER¹ dafs die verschiedene Brechungskraft hierbei den Hauptinflufs äufseré, dafs nämlich bei gröfser Brechungskraft (Wasserstoffgas, Ammoniakgas) sich die Farbe ins Roth, bei geringer Brechungskraft (Sauerstoffgas, Kohlensaures - Gas) ins Blaue ziehe. Ob hierbei die eigenthümliche und verschiedene gebundene E. der Gasarten selbst mitwirke, mag hier vorläufig als eine Frage hingestellt werden, auf welche ich weiter unten zurückkommen werde.

Besondere Modificationen in der Farbe des el. Funkens hängen auch noch von der Oberfläche der Körper ab, an welcher derselbe hinstreicht. So erscheint er an der Oberfläche von versilbertem Leder glänzend grün, ein langer über Kohlenpulver hinstrahlender Funke ist gelb, und als VAN MARUM den Strahl durch die Torricelli'sche Röhre über Phosphor streichen liefs, sah er dessen Licht auffallend verändert, grösstentheils von grünlich gelber Farbe in der Mitte, und wo der Strahl am

1 Dessen Journ. II. 150.

dichtesten war, so wie an der Oberfläche des Phosphors, von einem lebhaften Roth¹.

Zur Entstehung des el. Funkens ist nicht in allen Fällen ein Zwischenraum von Gas oder Dampf erforderlich, sondern er erscheint auch in seinem ganzen Lichtglanze, wenn man eine Leidner Flasche durch eine Schicht Wasser, Oel, Aether u. s. w. entladet, zu welchem Behuf man am besten eine Röhre nimmt, die etwa 6'' lang ist und einen halben Zoll im Durchmesser hat, deren beide Enden man mit Körken wohl verschließt, und durch die man Drähte steckt, die sehr nahe an einander gebracht werden. Verbindet man den einen mit dem äußern Belege, und den andern durch den Auslader mit dem Knopfe der Flasche, so sieht man bei der Entladung der Flasche einen sehr starken Funken zwischen den Enden der beiden Drähte, doch darf man zu diesem Versuche nur eine kleine Flasche nehmen, weil man sonst Gefahr läuft, daß die Röhre mit großer Gewalt durch die Explosion zersprengt werde. Hat dagegen die Säule Flüssigkeit eine Ausdehnung von mehreren Zollen zwischen den beiden Drähten, so geschieht die Entladung ohne einen solchen Funken, und jene Gefahr findet nicht statt, auch wenn man eine sehr große Flasche oder Batterie dadurch entladet.

Ueber die Verlängerung des Funkens durch mehrfache Unterbrechung und durch Fortleitung an einen unvollkommenen Leiter ist bereits im Artikel: *Elektrisir-Maschine und Flasche, elektrische* gehandelt worden. MEINEKE² hat auf diese Vielfältigung des el. Lichts den Vorschlag gegründet, die E. zur Beleuchtung anzuwenden, indem man Kugeln und Röhren, die im Innern mit Stanniolblättchen belegt sind, vorrichten und überdies verdünnte Luft und Wasserstoffgas zu Hülfe nehmen soll. Allein gerade in diesen beiden Medien fehlt es dem Funken an dem gehörigen Glanze, und der ganze Vorschlag gehört in eine Classe mit denjenigen, durch Reiben der Körper die Wärme für den häuslichen Gebrauch hervorzubringen.

Wie klein ein Funke seyn könne, um selbst bei hellem Tageslichte noch sichtbar zu seyn, darüber hat HALDANE³ eine auf Versuche sich gründende Berechnung angestellt, aus wel-

1 G. I. 248.

2 Ebend. LXII. 87.

3 Ebend. VII. 197.

cher sich ergibt, daß wenigstens galvanische Funken, die übrigens an und für sich betrachtet, gleichfalls einen rein elektrischen Charakter haben, bei einer Länge, die höchstens $\frac{1}{75000}$ Z. beträgt, noch vollkommen sichtbar sind. Doch wird bei einer so geringen Intensität der E. eine außerordentliche Quantität des el. Fluidums erfordert, in welcher Hinsicht eine Volta'sche Säule jeden andern Apparat weit übertrifft. In Rücksicht auf die Länge der Funken geladener Flaschen zeigte schon CAVENDISH¹, daß dieselbe nicht von der Zahl der Flaschen oder ihrer Größe, sondern von der Spannung, bis zu welcher sie geladen sind, abhängt. Bei der Ladung einer Flasche und mehrerer von gleicher Größe mit dieser bis zu einem Grade, daß sie gleich starke Schläge geben, wo also letztere zu einer verhältnißmäßig geringeren Spannung geladen sind, ist seinen Versuchen zufolge die Entfernung, in welcher der Funke von den mehreren Flaschen überschlägt (zu welcher Bestimmung das Lane'sche Auslade-Elektrometer am tauglichsten ist) umgekehrt kleiner in einem größeren Verhältnisse als die Quadratwurzel aus der Zahl der Flaschen.

Die Länge der Funken zu messen haben JOH. FRIEDR. GROSS², LE ROY³ und LANGENBUCHER⁴ eigene Werkzeuge unter dem Namen *Funkenmesser* angegeben. Sie bestehen aus Kugeln, die man mit ihren Stielen so verschieben kann, daß man an einer Eintheilung, die auf diesen Stielen selbst angebracht ist, ihre jedesmalige Entfernung von dem elektrisirten Körper, zwischen welchem und der Kugel die Funken überspringen, genau ablesen kann. Auch dient, um sehr kleine Unterschiede zu bestimmen, eine lange schraubenförmig eingeschnittene Stange mit bekannter Weite der Schraubengänge. Der oben genannte JOH. FRIEDR. GROSS, der dem Verfasser dieses Artikels als einer der eifrigsten Elektriker genau persönlich bekannt und sein erster Lehrer in diesem wichtigen Fache der Physik gewesen ist, hat in der oben angeführten Schrift zuerst ein besonderes Phänomen des el. Funkens angezeigt, das

1 Ph. Tr. LXVI. 202.

2 Elektrische Pausen. Leipzig 1776.

3 Mém. de l'Acad. de Paris 1761. p. 541.

4 Beschreibung einer verbesserten Elektrisir-Maschine. Anspach 1780. S. S. 46.

er mit dem Namen der *el. Pausen* belegt, und wovon noch unter dem Artikel: *Spitzen* besonders gehandelt werden soll.

II. Die Theorie.

Ueber den eigentlichen innern Vorgang bei der Entstehung des el. Funkens, und insbesondere die Quelle des Lichts und die Art des Zusammenhanges der verschiedenen Intensität dieses Lichtes, und der verschiedenen Farbe mit den Umständen, die hierbei ihren Einfluß äußern, schwebt noch Dunkelheit, und die Ansichten der Physiker hierüber sind von der Einstimmigkeit noch weit entfernt. So viel ist indess als Thatsache entschieden, daß im eigentlichen el. Funken stets die Thätigkeit beiderlei Elektricitäten concurrirt, wodurch derselbe sich von den bloßen Feuerbüscheln und dem leckenden el. Lichte unterscheidet, bei denen man allerdings bis auf einen gewissen Grad bloß eine einseitige Thätigkeit einer einzelnen E. annehmen kann. Jeder Funke beruht nämlich, wie oben bemerkt ist, stets auf einer Ausgleichung des el. Zustandes zweier Körper von verschiedener el. Beschaffenheit. Sind die beiden Körper bereits zum voraus in einem entgegengesetzt el. Zustande, so ist die Sache von selbst klar; ist der eine Körper positiv oder negativ, und der andere im natürlichen el. Zustande oder 0, so geht der Entstehung des Funkens immer eine Vertheilung des 0 voran, und es tritt an dem 0 Körper erst die entgegengesetzte E. auf, die bei Annäherung der Körper gegen einander stufenweise zunimmt, bis sie in der Schlagweite ein relatives Maximum erlangt hat, folglich gleichfalls wieder + und — zusammenwirken. Aber selbst wenn gleichartig positive oder negative Körper ihren verschiedenen el. Zustand durch einen Funken ausgleichen, geschieht dieses nur unter der Bedingung, daß der eine Körper in einem höheren Grade positiv oder negativ elektrisirt ist als der andere, dessen überwiegende E. dann abermals in dem mit ihm in Wechselwirkung tretenden Körper ihren Gegensatz hervorruft, und sich zunächst mit diesem ausgleicht, ohne jedoch in diesem Falle das 0 wieder herstellen zu können. Eben so ausgemacht ist es, daß die Intensität des el. Lichtes oder der Glanz des Funkens um so größer ist, je rascher die Ausgleichung der Gegensätze erfolgt, und je größer die Quantitäten der E. sind, die sich in gleicher Zeit in einem gegebenen Raume mit einander ausgleichen. Dieser Ausglei-

chung, wenn sie mit der Erscheinung des Funkens begleitet seyn soll, muß jedesmal eine Anhäufung und damit gegebene Verdichtung der E. an den Körpern, zwischen welchen die Funken überschlagen, vorangehen, welche durch die Umgebung derselben mit Nichtleitern vermittelt ist. Hier tritt nun die Schwierigkeit entgegen, warum das el. Fluidum, so lange es bloß an der Oberfläche angehäuft und verdichtet ist, in der Regel keine merkbaren Lichterscheinungen zeigt, ungeachtet es doch seine freie Wirksamkeit durch anderweitige Erscheinungen, namentlich die Anziehung und Abstofsung verkündigt. Diese Schwierigkeit haben die Physiker auf verschiedene Weise zu lösen gesucht und dadurch sind eben die verschiedenen Theorien des el. Funkens entstanden. Ich habe die sinnreiche Hypothese BIOT's, die schon früher MORGAN¹ vorgetragen hatte, bereits unter dem Artikel „Elektricität“ angeführt „daß die Lichterscheinung dem von einem Körper zum andern übergehenden el. Fluidum selbst nicht angehöre, nicht unmittelbar aus dieser Quelle entspringe, sondern vielmehr durch die schnelle Zusammendrückung des Mediums durch die mit außerordentlicher Geschwindigkeit übergehende E. aus diesem eben so hervorgehockt werde, wie man auch durch schnelle Zusammendrückung der elastischen Flüssigkeiten durch gewöhnliche mechanische Mittel Lichterscheinungen hervorrufen könne. Aufser den an jenem Orte schon gegen diese Erklärung aufgestellten Einwürfen scheint auch die Erfahrung des sichtlichen Durchschlagens elektrischer Funken durch Schichten von Oel und Wasser nicht damit vereinbar, dabei müßte man, um das fortwährende Durchschlagen von el. Funken durch einen kleinen mit Quecksilber gesperrten Luftraum ohne alle Abnahme des Lichtglanzes bei fortwährender Umdrehung der Elektrisir-Maschine zu erklären, annehmen, daß die Luft von außen her immer wieder das verlorne Licht anziehe, worauf aber keines der begleitenden Phänomene hindeutet. Ob jene leuchtenden Kugeln, die man in gewissen Fällen mit geringer Geschwindigkeit sich hat fortbewegen sehen, el. Natur waren, ist wenigstens nicht ganz ausgemacht, und daher kann von hieraus kein eigentlicher Einwurf genommen werden.

Eben so wenig annehmlich als BIOT's Erklärung ist die

1 Ph. Tr. LXXV. 198.

von NICHOLSON¹, daß der el. Funke, wenn er nicht abschließend aus Theilchen des ponderablen Körpers, aus welchem er hervorgeht, bestehe, doch von solchen Theilchen begleitet werde. Aus den Beweisen, welche NICHOLSON für diese Meinung anführt, muß man vermuthen, daß er den el. Funken für eine wahre Verbrennung dieser Theilchen halte, indem er unter andern anführt, daß man nie Funken zwischen unverbrennlichen Körpern wahrnehme, auch aus der außerordentlichen Kleinheit der Strahltheilchen, welche den gewöhnlichen Funken beim Feuerschlagen zum Grunde liegen, auf die Möglichkeit schließt, daß die Theilchen, die den el. Funken bilden, der Beobachtung ganz entgehen könnten. Daß aber kein Verbrennen im gewöhnlichen Sinne des Wortes hierbei vorgehe, beweiset schon der Umstand, daß sehr lebhafte Funken auch in bloßen Dämpfen von Quecksilber und Chlorspiessglanz erzeugt werden können. Auch möchte die Behauptung NICHOLSON's, daß eine Metallkette, so oft ein el. Schlag hindurchgeht, immer etwas an Gewicht verliere, auf keinen Fall für alle Ketten, z. B. nicht für Ketten von Gold und Platin, gelten, und dann ist dieser Gewichtsverlust nicht Ursache sondern Wirkung des Funkens, der doch schon da war, ehe er durch die Kette hindurchschlug.

Eben so wenig läßt sich das el. Licht mit POHL² aus einer Wechselwirkung der atmosphärischen Luft mit dem elektrisirten Körper, namentlich dem elektrisirten Hauptleiter und dem Conductor des Reibzeugs erklären, vermöge welcher nach den sehr künstlich von diesem Physiker hierzu ersonnenen Schema einer zweigliedrigen Kette, ein offenbarer oder versteckter Oxydationsproceß eintrete, von welchem, wie bei jedem andern gewöhnlichen Verbrennen, die Lichtentwicklung abhängt, und keineswegs von einer eigenen el. Materie, welche POHL consequent mit seiner dynamischen Ansicht aller el. Erscheinungen für eine bloße Chimäre erklärt. Schon allein die fortwährende Erregung des lebhaftesten el. Lichtes in der *Hawksbee'schen* luftleer gemachten, bloß etwas Quecksilberdampf enthaltenden *Glasröhre* schließt alle von POHL angenommenen Bedingungen zu jenem Proceße aus, da einerseits

1 G. XXXIV. 111.

2 Der Proceß in der galv. Kette. S. 320.

an der innern Oberfläche des Glases so wenig als an der Oberfläche des Quecksilbers jene Ecken und Hervorragungen im Gegensatz gegen rauhe Stellen existiren, die POHL zur Construction einer zweigliedrigen Kette postuliren muß, andererseits ein Medium, welches durch eine in Beziehung auf sich selbst desoxydirende, in Beziehung auf den Leiter oxydirende Thätigkeit wirkt, gänzlich fehlt. Nach dem, was ich bereits unter dem Artikel „*Elektricität*“ vorgetragen habe, sehe ich vielmehr den el. Funken als eine *reine Erscheinung des el. Fluidums selbst* an, und zwar in Folge einer theilweisen Zersetzung desselben, wobei alle Eigenthümlichkeiten des Phänomens nur unter der Voraussetzung zweier el. Materien zu einer harmonischen Darstellung gelangen. Wenn auch VAN MANNUM's Beobachtung in Beziehung auf den el. Funken unter allen Umständen sich bestätigte, daß nämlich in dem Falle, wenn zwischen einem — elektrisirten und einem mit dem Erdboden in Verbindung stehenden, also im natürlichen Zustande sich befindenden, Leiter ein Funke überspringt, die aus demselben ausfahrenden Strahlen und Feuerbüschel ihre Richtung stets von dem 0 Leiter nach dem negativen Leiter hin haben, nach der Art wie die Figur sie darstellt, so würde diese Erscheinung^{Fig. 77.} doch keinen Einwurf gegen die sonst so gut begründete dualistische Ansicht abgeben, da sie durch die Erklärung, welche TREMERY¹ von den Erscheinungen beim Durchschlagen einer Charge gegeben hat, immer noch in gute Uebereinstimmung damit gebracht werden könnte. Aber es ist bereits unter dem Artikel „*Elektricität*“ bemerkt worden, daß unter gewissen Umständen beim Funkenziehen aus dem Conductor des Reibzeugs durch eine entgegengehaltene Kugel die Aeste des Funkens vielmehr gegen diese letztere und der Stamm gegen die negative Kugel gerichtet sind².

Die theoretische theilweise Zersetzung der el. Materie in den Funken und die davon abhängige Ausstrahlung des Lichts hängt hier eben so von der durch die Anhäufung des el. Fluidums an einer Oberfläche bewirkten Verdichtung desselben, dem man in einem gewissen Sinne eine dampfförmige Natur zuschreiben kann, ab, wie die Zersetzung des Wasserdampfes unter ähnli-

1 S. Art. *Flasche, elektrische*.

2 Bischoff in Kastner's Archiv II. 207.

chen Umständen. Es gilt überhaupt das allgemeine Gesetz, daß in allen Fällen, wo eine starke Verdichtung der E. eintritt, Ausstrahlung von Licht erfolgt, auch wenn es nicht zur Bewegung derselben im Ganzen kommt. So zeigte sich in Nicholson's Versuchen mit der starken Verdichtung der E. eine kleine Kugel mit einem Kreise von Licht umgeben, und auf diese Weise scheinen alle el. Ausstrahlungen und Feuerbüschel der durch Reiben auf einen hohen Grad elektrisirter Körper von einer Zersetzung der an ihnen angehäuften und verdichteten E. abzuhängen. Je stärker diese Verdichtung ist, sey es nun durch vermehrten Widerstand des Mediums, oder durch größere Anhäufung, um so stärker ist diese Zersetzung, um so mehr wird Licht ausgestrahlt, um so größer ist der Glanz des Funkens. Damit stimmen alle in diesem Artikel mitgetheilten Beobachtungen überein. Im luftleeren und von allen Dünsten durch Erkältung soviel möglich befreiten Raume findet keine Lichterscheinung statt, weil die E. in ihrem Durchgange gar keinen Widerstand findet und folglich auch die zur Zersetzung des el. Dampfes nothwendige Verdichtung nicht eintreten kann. Eben weil das Licht von der el. Materie selbst und nicht von dem Medium ausgeht, begreift man, warum beim Durchgange durch eine dünnere Schicht von Wasser oder Oel der el. Funke mit großem Glanze erscheinen kann, weil wegen des relativ großen Widerstandes dieser sehr dichten Medien die Verdichtung und die davon abhängige Zersetzung der el. Materie viel größer ist. Der Farbengegensatz, welcher im Allgemeinen in den beiderlei Arten von el. Funken sich zeigt, scheint auf dem Uebergewichte der einen Hälfte des Farbenspectrums in der einen, und der andern Hälfte in der entgegengesetzten E. zu beruhen. In die Mischung der $-$ E scheint mehr die blaue, in die Mischung der $+$ E mehr die rothe Hälfte einzugehen. Daher ist bei einer gehörigen Länge des Funkens dieser nach dem $+$ Conductor hin mehr purpurfarbig, an der Auffangkugel, von welcher die $-$ E der positiven entgegen kommt, mehr blau, in der Mitte dagegen, wo beide E. sich gleichsam mehr durchdringen und gleichzeitig vorhanden sind, integrirt sich das weiße Licht aus den beiden Gegensätzen, eben so wenn die Funken kürzer und die beiden E. dem Raume nach weniger von einander geschieden sind; doch scheint das glänzendste und weißeste Licht dem positiven Leiter immer näher

zu liegen. Die überwiegend rothe Farbe des positiven Funkens im Wasserstoffgase rührt ohne Zweifel daher, daß hier die negative E. von der dem Wasserstoffgase eigenthümlichen positiven mehr angezogen wird, und das Funkenphänomen also ausschließend mehr von der positiven E. abhängt; der umgekehrte Fall muß im Sauerstoffgase und kohlen-sauren Gase eintreten, wo vielmehr die + E. von der negativen dieser Gasarten angezogen wird, und die Zersetzung mehr ausschließend die negative E. betrifft. Eben so erklärt sich die rothe Farbe des Funkens beim Ausziehen desselben aus einem positiv el. Conductor durch einen unvollkommenen Leiter, oder bei der unvollkommenen Entladung einer positiv geladenen Flasche, wo nothwendig ein Uebergewicht der positiven E. statt finden muß, folglich die Zersetzung mehr oder ausschließend diese betrifft, womit dann Ausstrahlung des rothen Lichtes gegeben ist.

III. Historische Notizen.

Die ersten Beobachter des el. Lichts, BOYLE, OTTO VON GUERICKE, DR. WALL und HAWKS BEE sahen dasselbe bloß an Nichtleitern. Jene beiden ersteren erkannten nur einen Schimmer und das Knistern davon. DR. WALL¹ fühlte doch schon, daß das Licht des geriebenen Bernsteins den Finger auf eine empfindliche Art mit einem plötzlichen Stosse oder mit einem Blasen wie ein Wind treffe. Er verglich auch bereits das Knistern und die Lichtausstrahlung der geriebenen elektrisirten Körper mit dem Donner und Blitze, und stellte den Satz allgemein auf, daß alle durch Reiben elektrisirte Körper Licht ausstrahlen. HAWKS BEE der in den ersten Jahren des achtzehnten Jahrhunderts diese Lehre mit vielen neuen Thatsachen² bereicherte, nennt den Schall des el. Funkens ein Schnappen (snapping) und die Wirkung auf den Finger eine Art von Druck. Funken aus einem Leiter sah GRAY zuerst, da er seine geriebene Glasröhre gegen die Oberfläche des Wassers in einem Gefäße brachte³. Er erzählt, es sey ein feiner Strahl aus dem Wasser hervorgekommen. Die eigentliche Entdeckung des Funkens gehört aber DU FAY, welcher ihn im Jahre 1732 zuerst aus seinem ei-

1 Ph. Tr. 1708. XXVI. 87.

2 Ebend. XXIV. — XXVII.

3 Ebend. 1731. XXVII. 227.

genen Körper durch Hülfe anderer zog¹. Er sowohl als diejenigen, die ihn berührten, empfanden einen Schmerz wie von einem Nadelstiche, oder vom Brennen eines Funkens, der durch die Kleider eben so wie auf die bloße Hand wirkte und im Dunkeln sah man den Funken sehr deutlich. NOLLET, der damals DU FAX'S Schüler war, bemerkt², er werde die Bestürzung nie vergessen, in welche der erste Funke aus dem menschlichen Körper DU FAX und ihn versetzt habe. Er fand hernach, daß man aus Metallen noch stärkere Funken erhielt, wodurch GRAY veranlaßt wurde, metallene Conductoren oder erste Leiter anzubringen, die ihm so starke Funken aus Wasser gaben, daß auch er, wie schon früher DR. WALL, die Aehnlichkeit mit dem Blitze ahndete.

Die deutschen Naturforscher, insbesondere GORDON in Erfurt, verstärkten den Funken noch mehr und bemühten sich brennbare Stoffe dadurch zu entzünden. DR. LUDOLF in Berlin und WINKLER in Leipzig waren die ersten, denen es im Jahre 1744 gelang, Weingeist anzubrennen. GRALATH in Danzig entzündete den Rauch einer eben verlöschenden Kerze, und BOSE in Wittenberg den von geschmolzenem Schießpulver. DR. WILSON in London³ wiederholte diese Versuche und fand daß die Entzündung auch von statten gehe, wenn eine elektrisirte Person den Weingeist hielt, und eine unelektrisirte den Finger daran brachte.

Bald hierauf gab die Entdeckung der Leidner Flasche den Naturforschern ein Mittel, weit stärkere Wirkungen hervorzubringen, als der Funke der einfachen E. zu thun vermögend ist. Man ist daher auf die Verstärkung desselben nicht mehr so bedacht gewesen. NOLLET hat verschiedene Spielwerke, z. B. im Dunkeln leuchtende Buchstaben und andere Figuren, darzustellen, sehr umständlich beschrieben⁴. Die neueren größeren und besser eingerichteten Maschinen haben inzwischen einfache Funken verschafft, deren Wirkungen denjenigen der verstärkten E. nicht viel nachgeben. Insbesondere sind die großen Funken der Harlemer Maschine sehr merkwürdig. Die

1 Mém. de Paris 1733.

2 Leçons de Physique. VI. 408.

3 Ph. Tr. 1745. XLIII. 481.

4 Lettres sur l'électricité Tome II. à Paris 1760. 12. p. 274.

von den neuesten Physikern herrührenden Erfahrungen den el. Funken betreffend, finden sich an ihrem Orte in diesem Artikel erzählt¹. P.

Funke, galvanischer.

Wenn gleich der galvanische Funke im wesentlichen einerlei mit dem elektrischen ist, so zeigt er doch einiges Eigenthümliche abhängig von der Beschaffenheit der galvanischen Apparate, durch deren Hülfe er erhalten wird. Am passendsten wird indess von demselben in dem diesen Apparaten gewidmeten Art.: *Säule, Volta'sche*, gehandelt werden. P.

Funkeln der Sterne.

Scintillatio stellarum; scintillation des étoiles; *twinkling of the stars, glittering of the stars.*

Die Sterne zeigen uns zuweilen bei ganz heiterem Himmel ein völlig ruhiges Licht, zu andern Zeiten aber sind sie lebhaft zitternd, sie scheinen sich in geringem Malse hin und her zu bewegen, in einem Augenblicke heller aufzuglänzen, als im andern. Das letztere ist das Funkeln oder Blinkern der Sterne. Dieses Funkeln entsteht durch eine Ungleichartigkeit der Luft- und Dunst-Schichten, durch welche der Lichtstrahl zu unserm Auge gelangt, und durch die Aenderung der Lage der ungleichartigen Theilchen. Wenn wir über ein nicht rauchendes Kohlenfeuer oder auch nur über eine erhitzte Fläche hin sehen, so scheinen uns die jenseits liegenden Gegenstände in einer zitternden Bewegung zu seyn, die von dem Aufsteigen der erhitzten Luft durch die kälteren Luftschichten hervorgebracht wird. Es gelangen nämlich die Lichtstrahlen, indem sie bald auf wärmere, bald auf kältere Theilchen, oder im Allgemeinen auf Theilchen von ungleicher Dichtigkeit treffen, nicht immer in derselben Richtung zum Auge, sondern erleiden bald

1 PRIESTLEY'S Geschichte der Elektrizität übersetzt durch Krünitz. An mehreren Stellen. CAVALLO'S vollständige Abhandlung u. s. w. Ister Band. 3ter Theil. 6stes Cap. Vom el. Lichte. S. 191. SIN-CEN'S Elemente der Elektrizität übersetzt von Müller. 4tes Cap. S. 49. Elektrische Lichterscheinungen. RUKLAND'S System der allgemeinen Chemie 1818. S. 91—95.

nach der einen, bald nach der andern Seite eine kleine Brechung, und dieser Wechsel bringt das Zittern der Gegenstände hervor. Aus diesem Grunde sieht man an heißen Tagen die Oberflächen der nicht allzu entfernten Gegenstände, in denen man kleinere Theile noch deutlich unterscheidet, zitternd, zuweilen in Wellen ähnlicher Bewegung¹. Dafs eben dieser Grund das Funkeln der Sterne hervorbringt, ist wohl offenbar, und es läßt sich nun auch einsehen, warum die Fixsterne stärker funkeln als die Planeten. Die Fixsterne erscheinen uns unter einem so geringen Durchmesser, dafs wir sie fast als einem Punkte gleich erscheinend angeben können, und wenn diese auch nur um etwas Geringes, z. B. 5 Secunden von ihrem Platze verrückt werden, so erscheint uns dieses als wirkliche Fortrückung; die Planeten dagegen, die 30 oder 40 Sec. scheinbaren Durchmesser haben, könnten uns allenfalls unter einem an der einen Seite vergrößerten Durchmesser erscheinen, wenn der von der einen Seite ausgehende Strahl mehr seitwärts gelenkt wird, und dieses werden wir nicht so leicht gewahr. Sieht man die Planeten durch ein Fernrohr an, so zittern ihre Ränder, besonders wenn sie nahe am Horizonte stehen. Selbst der Rand der Sonne erscheint, wenn man ihn so beobachtet, oft in zitternder Bewegung². Das Erscheinen verschiedener Farben, welches besonders am *Sirius* zuweilen merklich ist, muß doch auch wohl ohne Zweifel aus eben den Ursachen erklärt werden, obgleich ich gestehe, nicht entscheiden zu können, ob man es der ungleichen Brechbarkeit der Farbenstrahlen allein zuschreiben darf.

Mit diesem Funkeln der Sterne verwandt sind einige länger dauernde Verrückungen der Sterne von ihrem Standpunkte. CARLINI bemerkt³, dafs sich in dem stark vergrößernden Reichenbach'schen Mittagsfernrohre beim Durchgange des Polarsterns zuweilen die sonderbare Erscheinung zeigte, dafs dieser

1 BRANDES Beobachtungen über die Strahlenbrechung. Oldenburg 1807. S. 110.

2 Als diese richtige Erklärung angehend verdienen VITELLIO (*Risneri opticae thesaurus*. p. 449.) und HOEK (*Micrographia*. p. 231.) erwähnt zu werden. MUSSCHENBROEK (*Introd. ad philos. nat.* Vol. II. §. 1741.) und MITCHELL (*Priestley Geschichte der Optik*. S. 372.) geben Erklärungen, die ungenügend scheinen.

3 DE ZACH *Corresp. astron.* II. 84.

am Faden vorbeigeht, 10 bis 20 Sec. fortückt, dann zurückkehrt, den Faden noch einmal rückgängig und dann abermals rechtläufig passirt. Zuweilen trennte der Stern sich in zwei Hälften, oder es zeigte sich ein doppeltes Bild des Sterns. Diese Erscheinung muß eben so erklärt werden. Gesetzt, es steige, statt der schnell wechselnden warmen Luftströme, aus welchen das Funkeln hervorgeht, ein gleichförmiger warmer Luftstrom auf, der eine Seitenrefraction von 20 Sec. hervorbringt, so wird der Stern anhaltend um 20 Sec. von seinem wahren Orte weggerückt seyn, und erst an seinen rechten Platz zurückkehren, wenn jener Lichtstrom nicht mehr da ist. Wäre dieser Lichtstrom so beschränkt, daß neben ihm vorbei noch ein zweiter Lichtstrahl in gerader Linie ins Auge käme, so sähe man den Stern doppelt, genau so wie bei der Luftspiegelung (Mirage). Ich selbst habe eine ähnliche dauernde Verrückung wahrgenommen, wenn ich bei starker Hitze mikrometrische Messungen der Sonnenflecke vornahm; die im Heliometer entstehenden doppelten Bilder waren zuweilen mehrere Secunden lang in Berührung, und trennten sich dann wieder; — offenbar auch nur, weil der die eine Hälfte des Objectivs treffende Lichtstrahl durch eine anders brechende Luftmasse ging¹.

Dieses Funkeln der Sterne ist ungleich bei verschiedener Witterung. Ein ganz ruhiges, gleichförmiges Licht der Sterne bei heiterem Himmel scheint zuweilen Vorbedeutung von Regen und Sturm zu seyn². Das sehr lebhaftes Funkeln der Sterne bei heiterem Frostwetter kann vielleicht zum Theil durch die alsdann oft in der Luft zahlreich herabfallenden höchst feinen Eisblättchen veranlaßt werden³. In der heißen Zone scheinen die Sterne zuweilen nicht bloß zu zittern, sondern hin und her zu fliegen, wie v. HUMBOLDT erzählt⁴. B.

Fufs, S. Mafs.

1 Bode's Jahrb. 1824. S. 166.

2 Kastner's Archiv X. S. 256.

3 Vgl. Konigl. Vetensk. Selsk. nya Handlingar. XXIV.

4 G. VI. 190.

Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page. The text is arranged in several paragraphs and is mostly obscured by the paper's texture and discoloration.

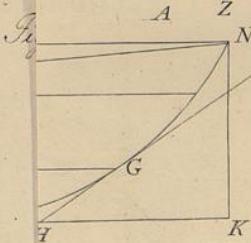
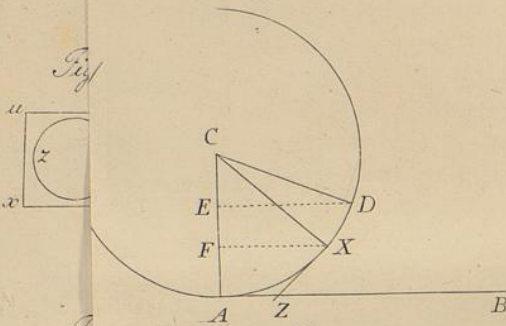
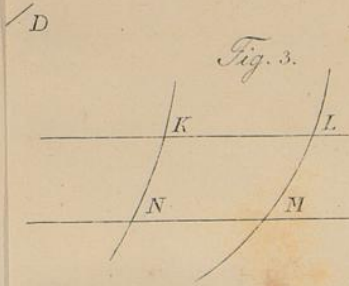
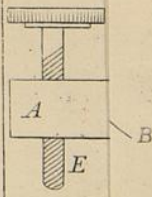
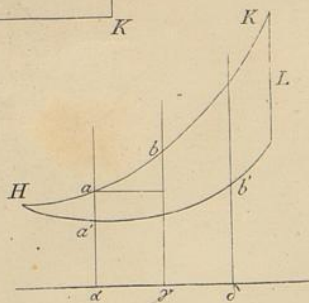
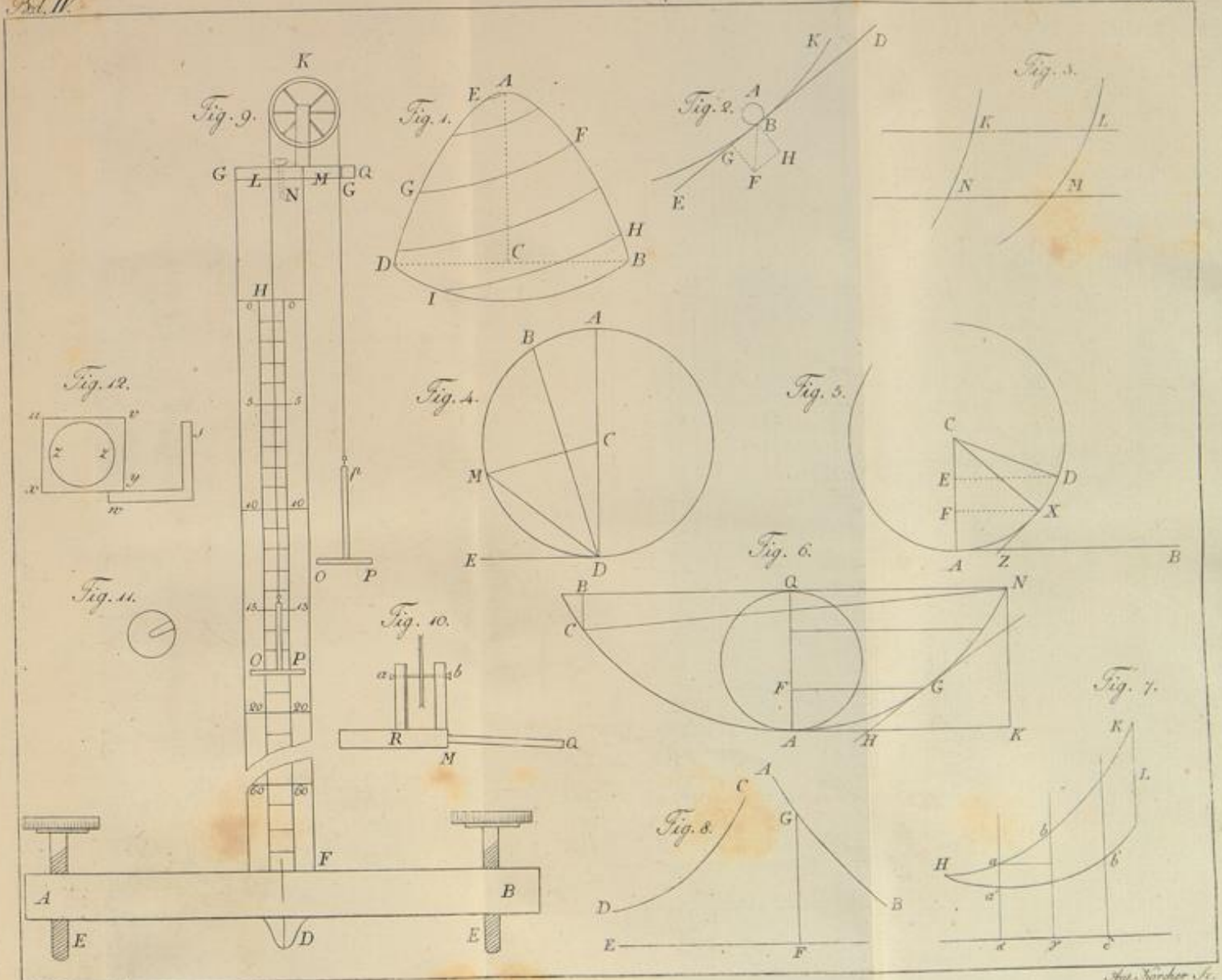


Fig. 7.



G. Dunsinger

Ant. Färber Sc.



J. Linsinger del.

Aut. Vorherer Sc.

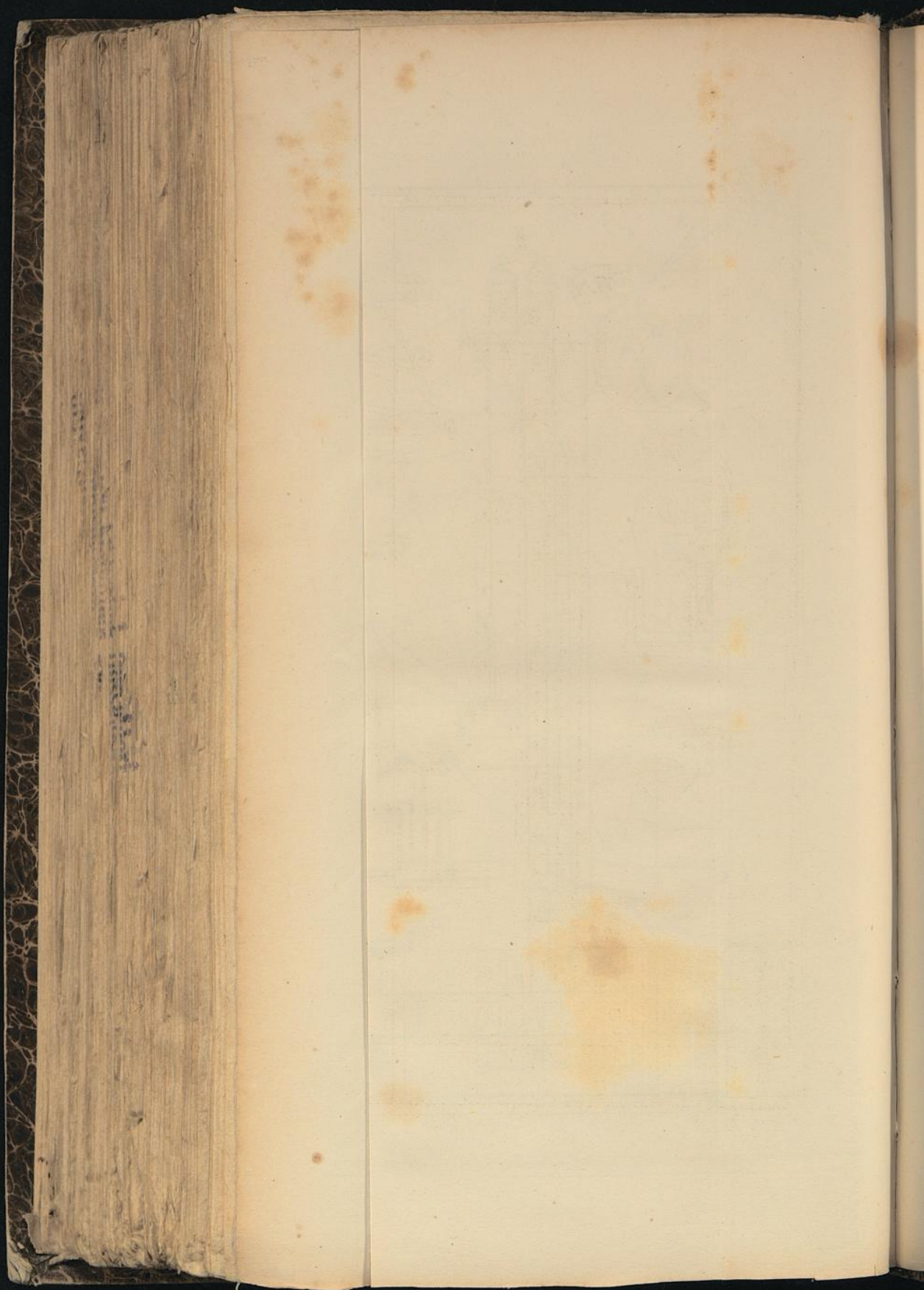




Fig. 14.

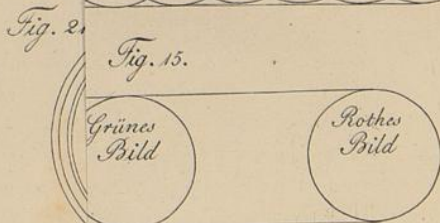


Fig. 2.

Fig. 15.

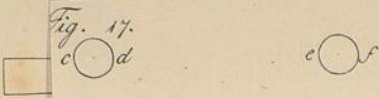
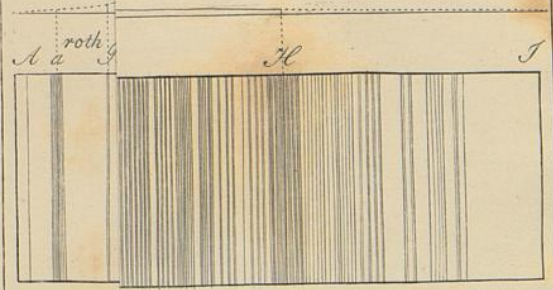


Fig. 17.

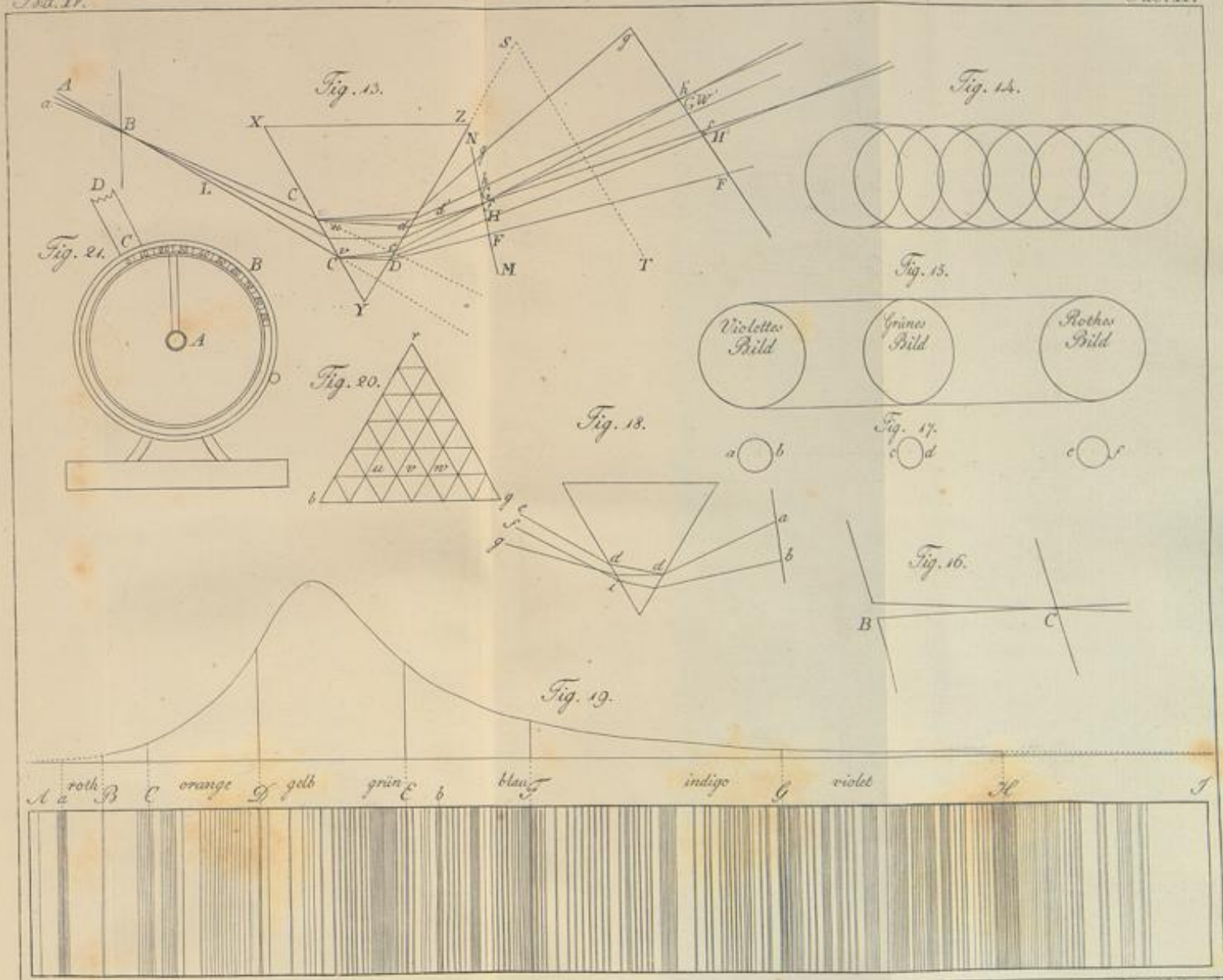


Fig. 16.



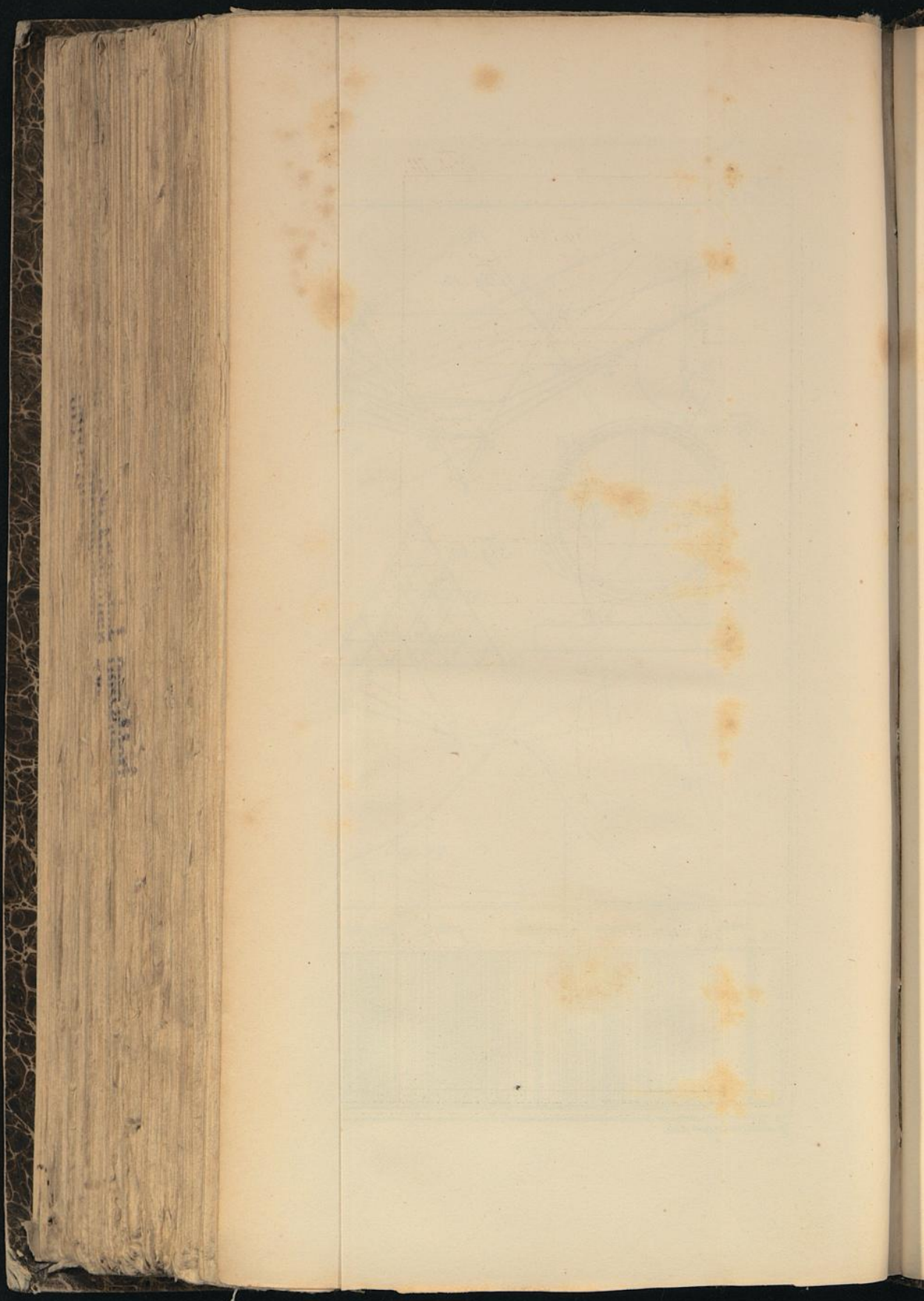
G. Dunzing

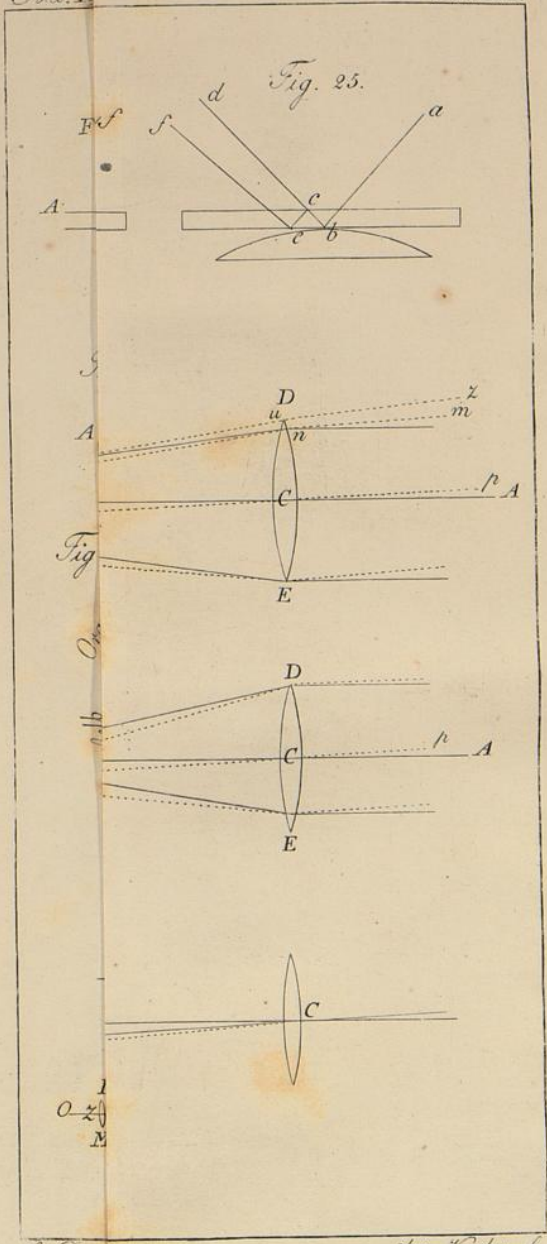
Ant. Kärcher Sc.



J. Dunsinger del.

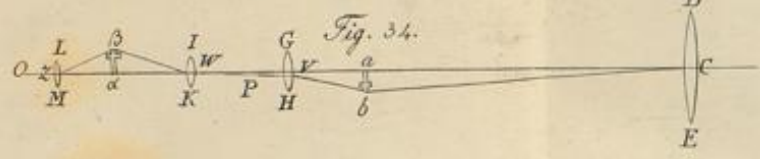
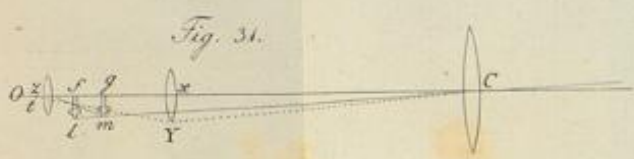
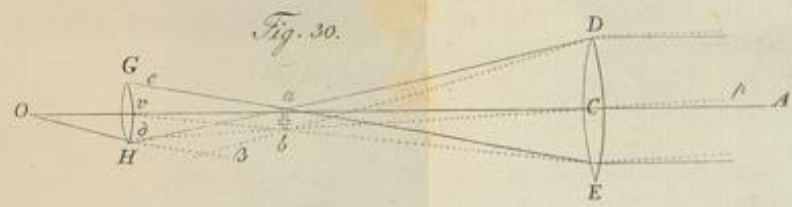
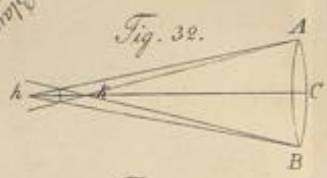
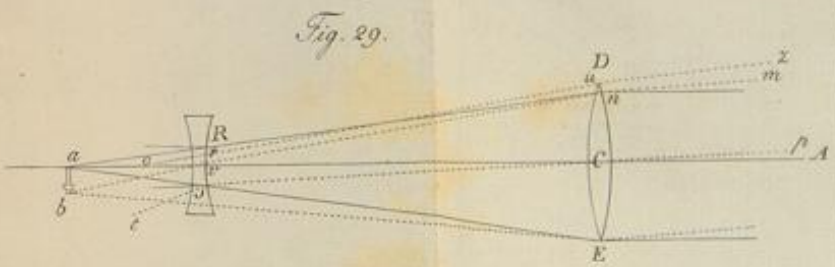
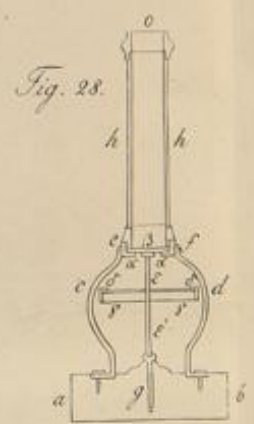
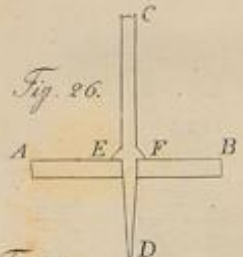
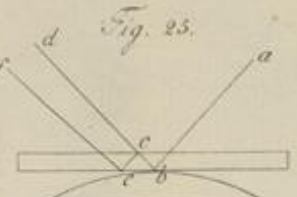
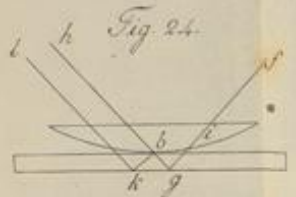
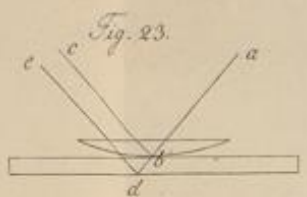
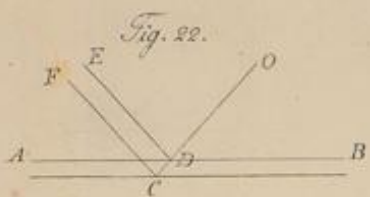
Ant. Fischer sc.





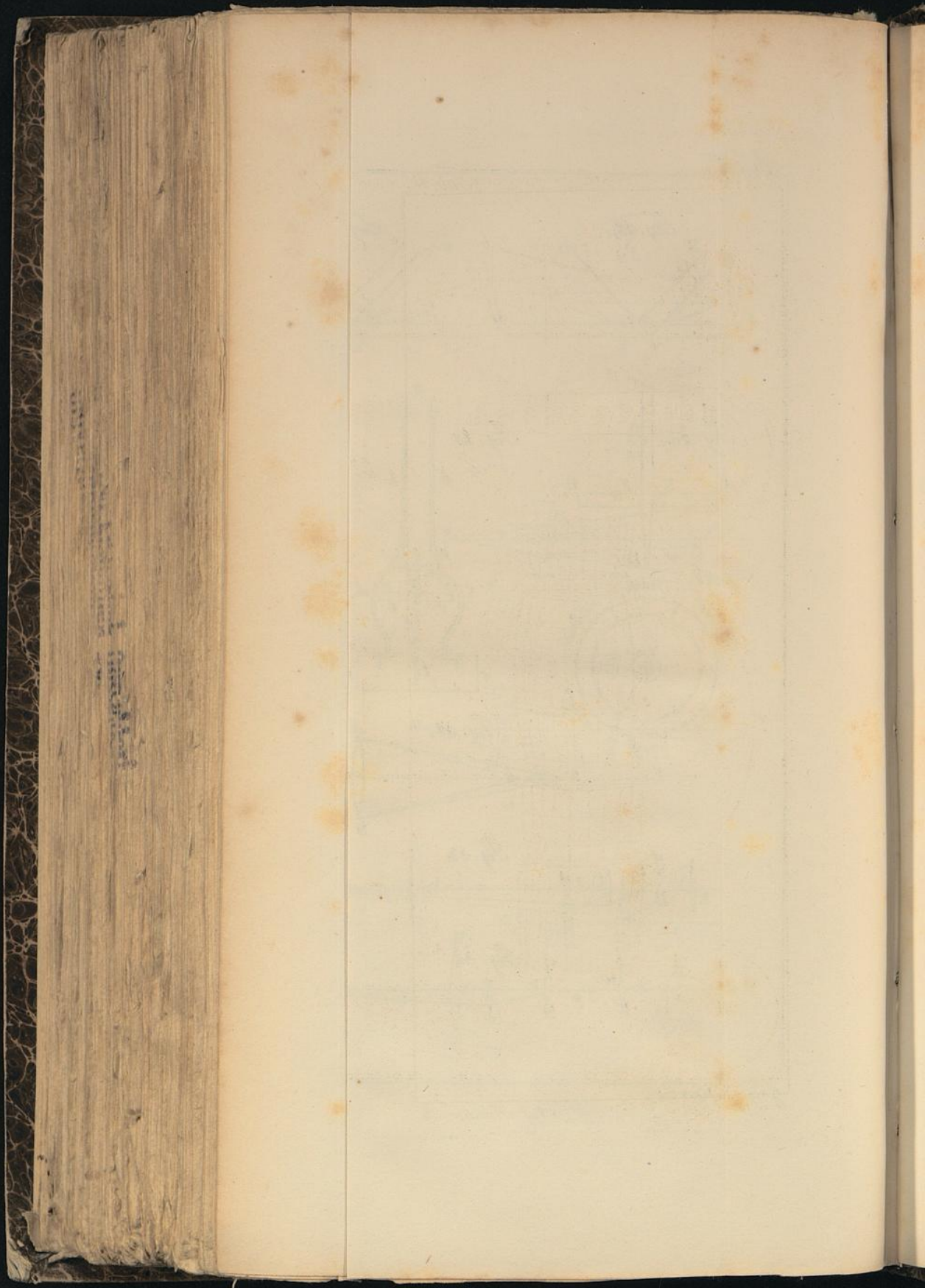
G. Gans

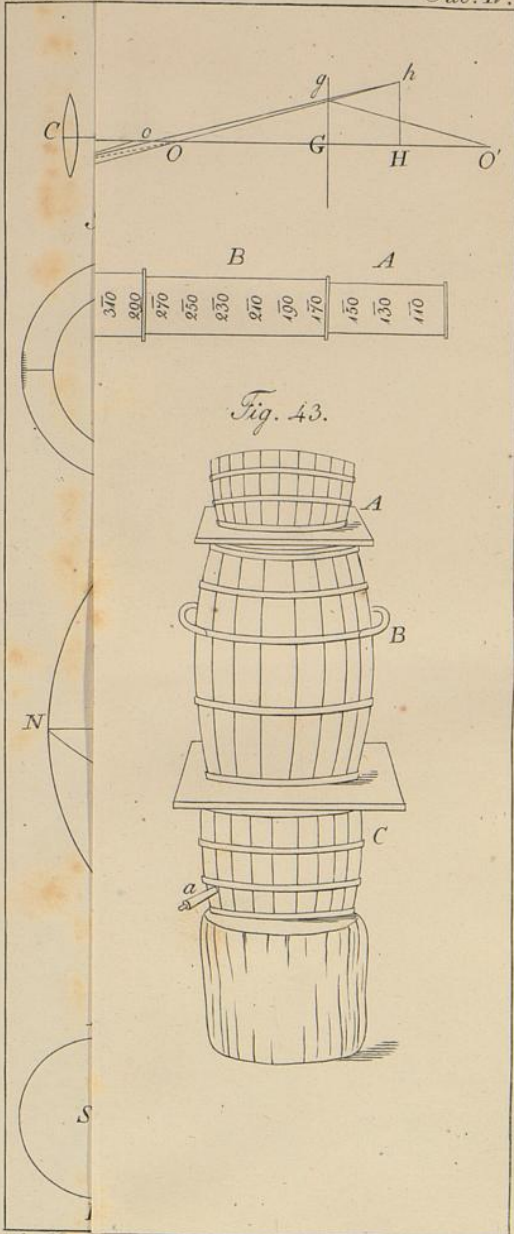
Ant. Kärcher Sc.



J. G. Geringer del.

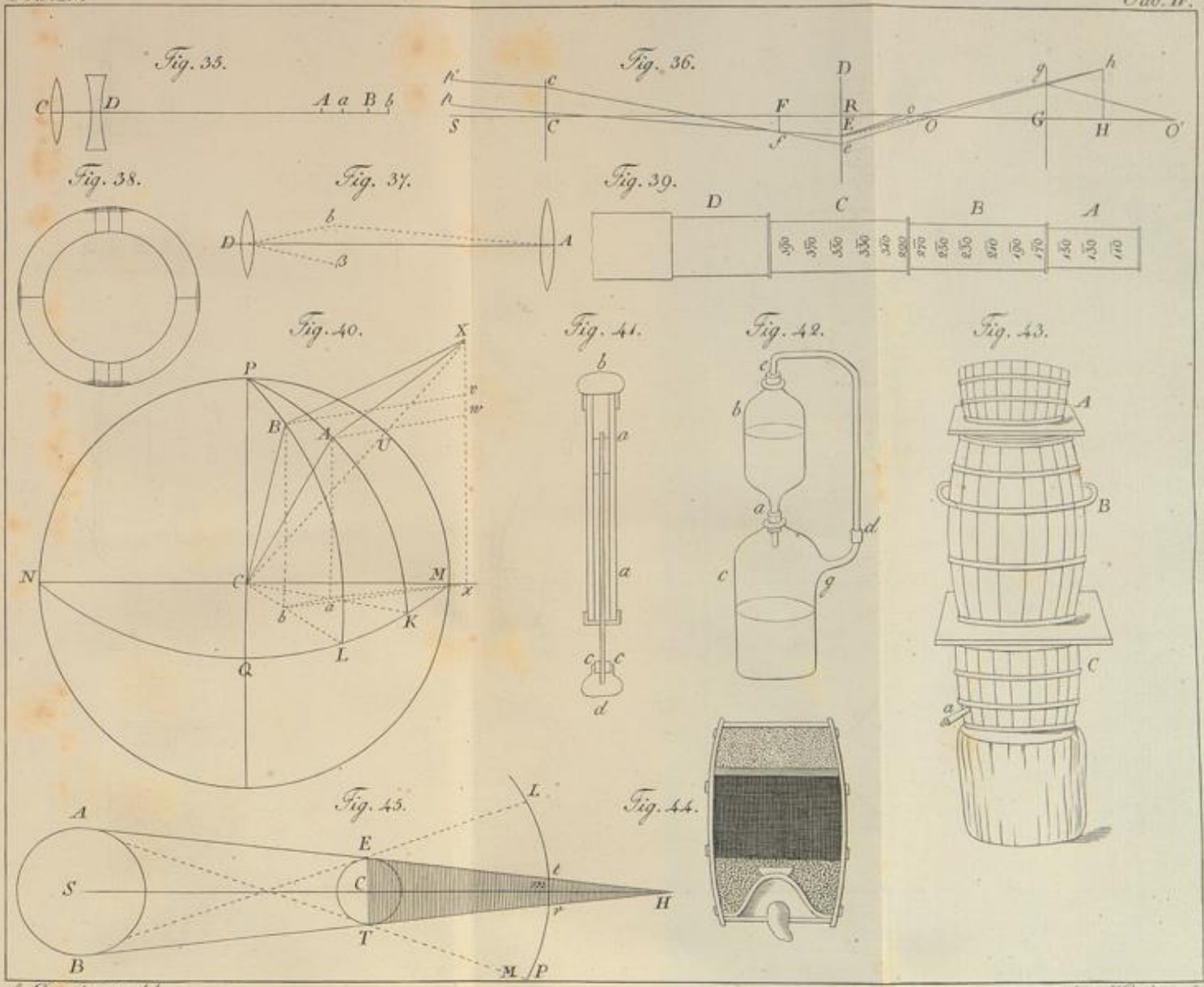
Ant. Krieger sc.





G. Duns

Ant. Karcher Sc.



G. Dünzinger del.

Ant. Nardher Sc.

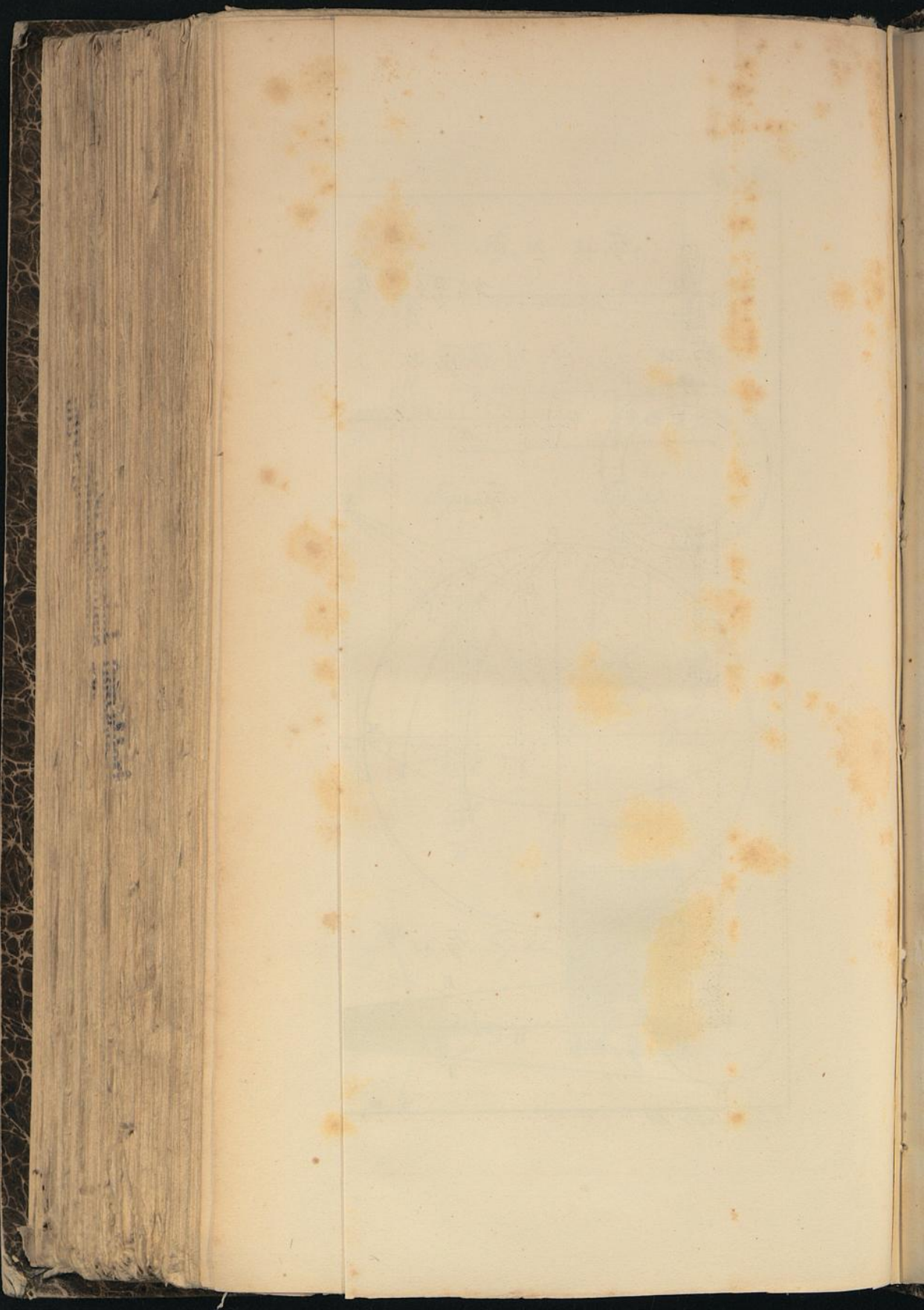


Fig. 48.

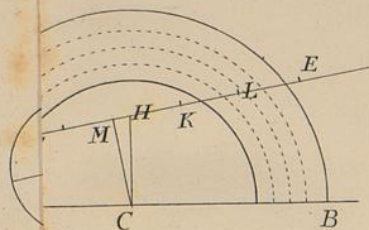
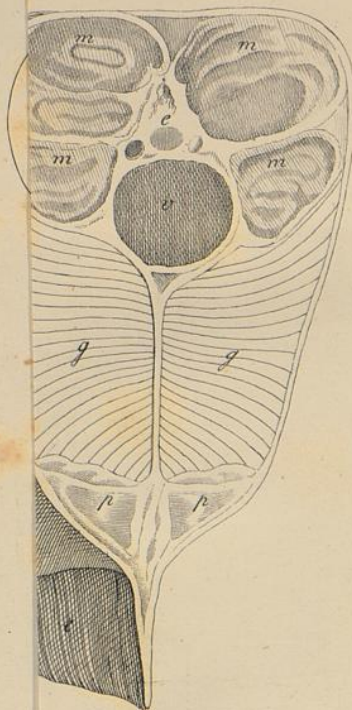


Fig. 51.



G. Du.

Ant. Kärcher Sc.

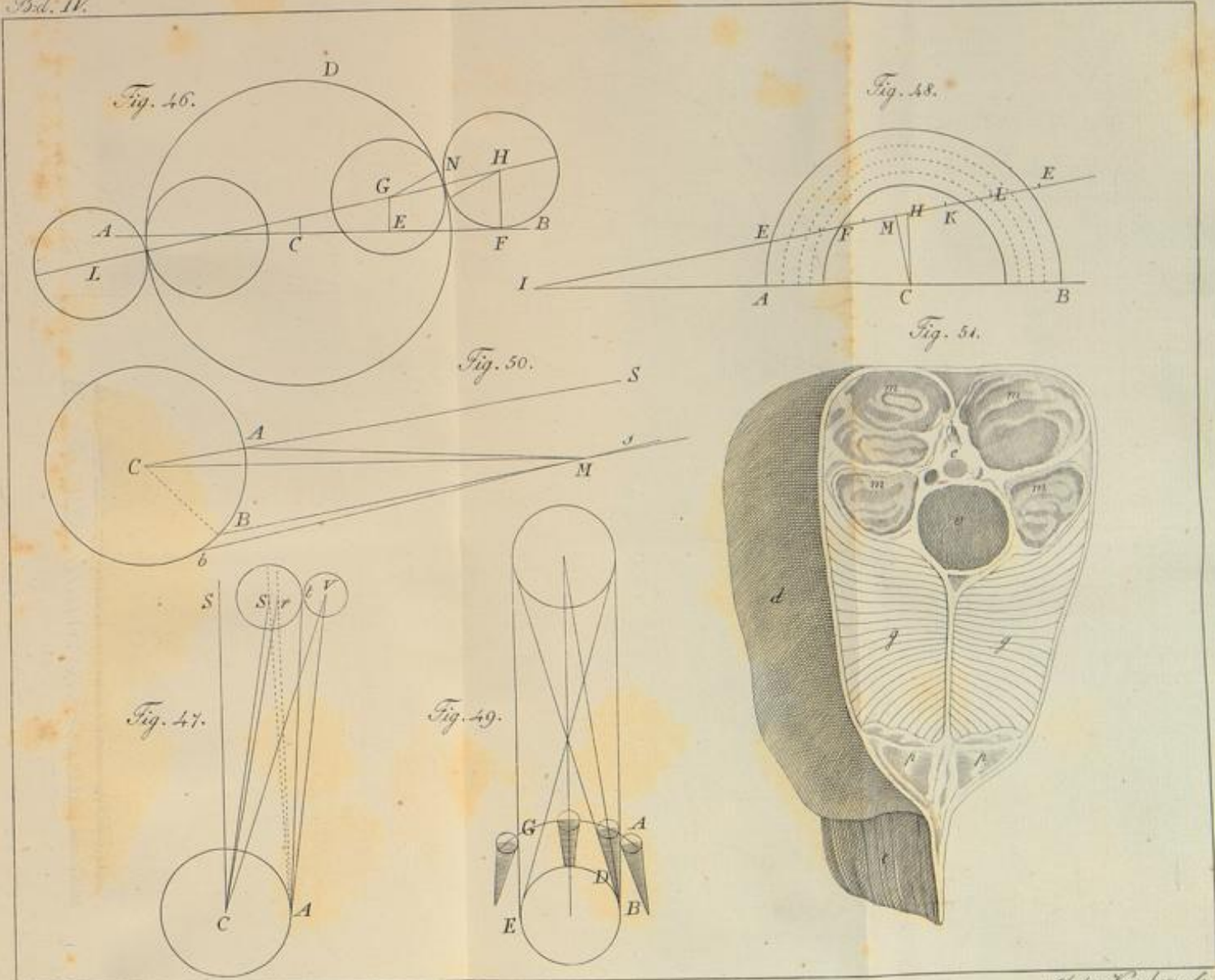


Fig. 46.

Fig. 48.

Fig. 50.

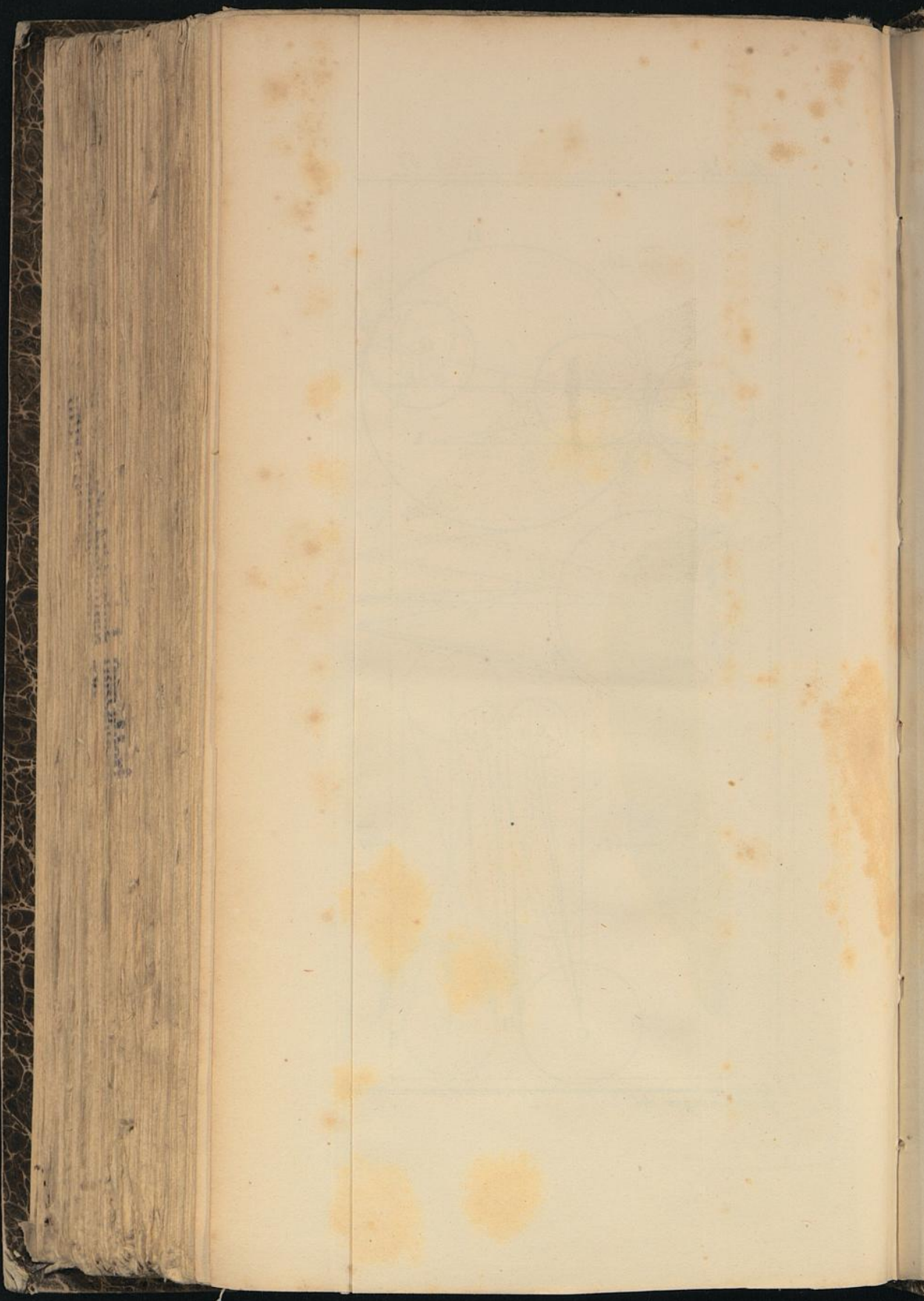
Fig. 51.

Fig. 47.

Fig. 49.

G. Duvivier del.

Ant. Narcher Sc.



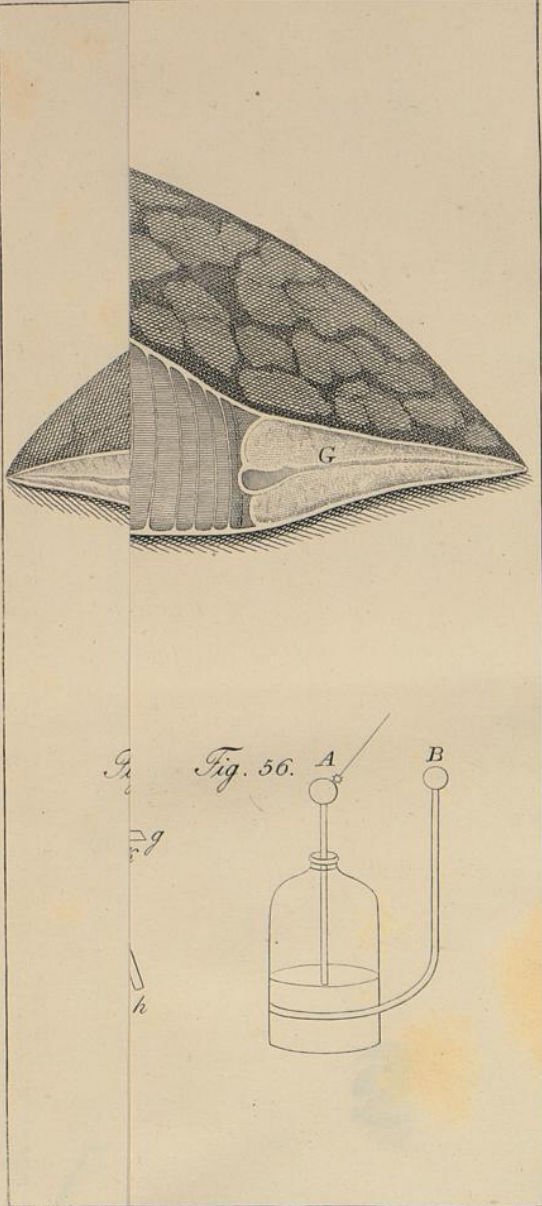


Fig. 56.
h

G. Danzing

Ant. Kärcher Sc.

Fig. 52.

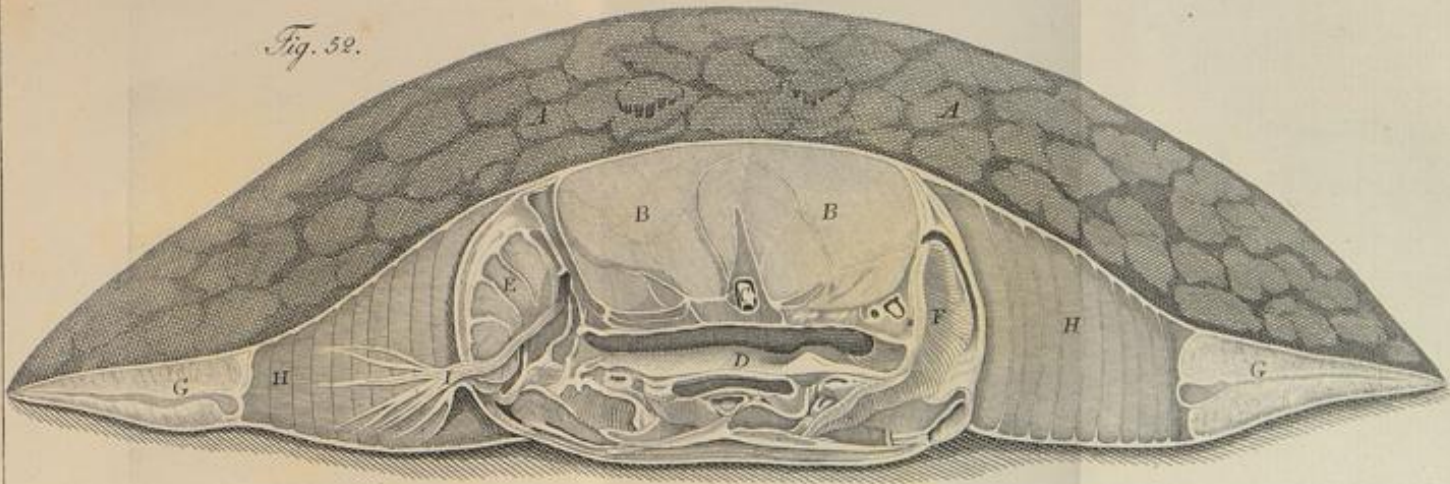


Fig. 53.



Fig. 54.

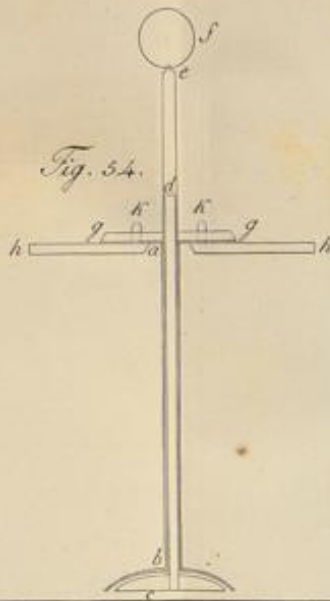


Fig. 55.

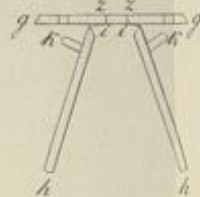
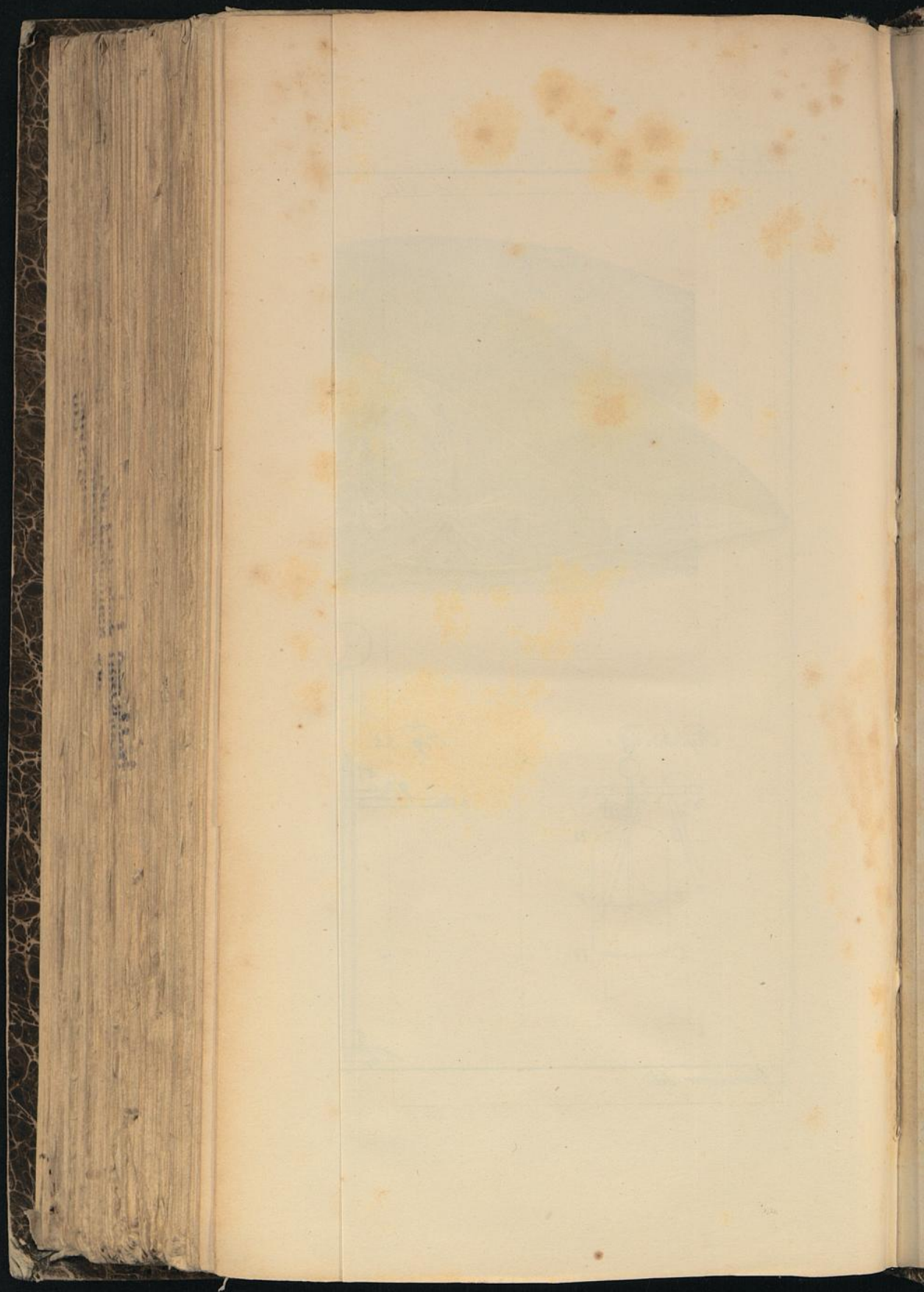


Fig. 56.



J. Dunsinger del.

Aut. Nürnberg Sc.



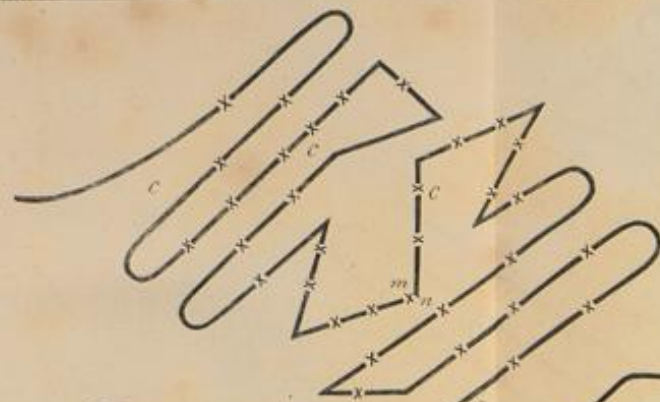


Fig. 57.

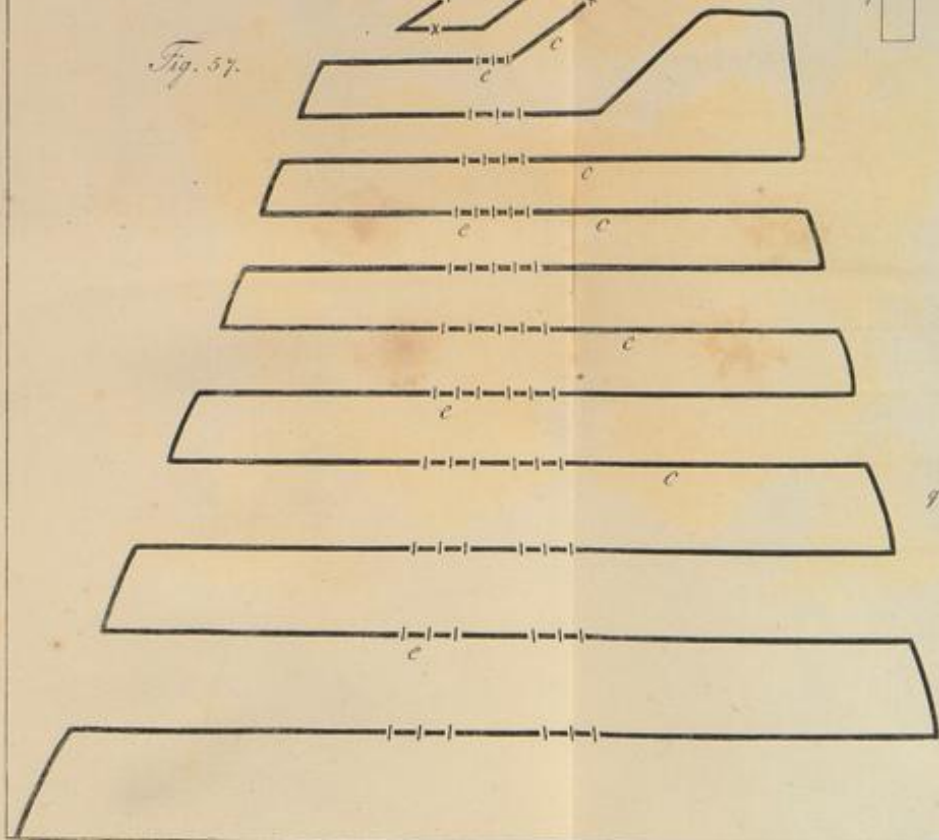


Fig. 58.

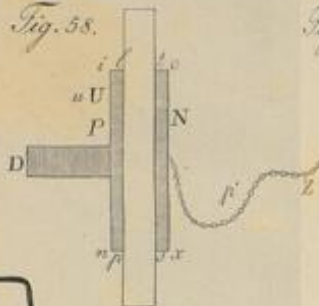


Fig. 59.

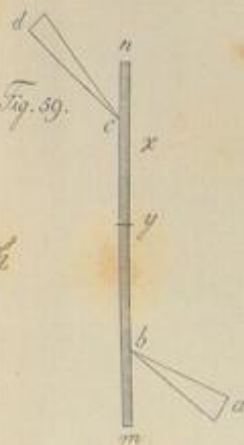
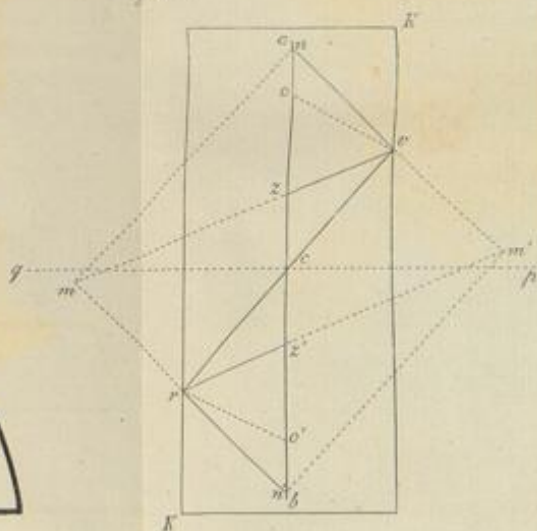


Fig. 60.



g. Sturmg. del.

Ant. Kähler del.

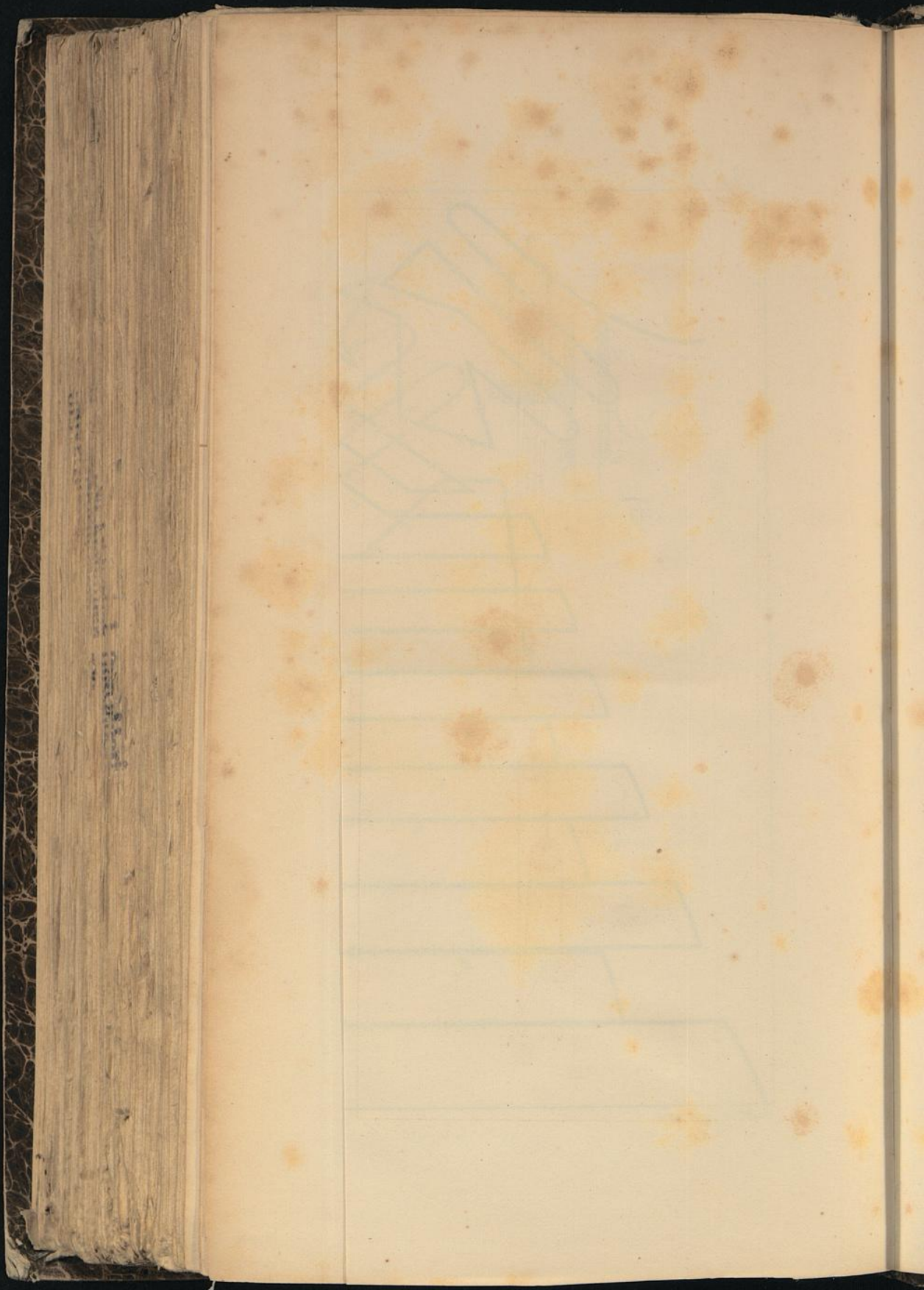


Fig. 65.

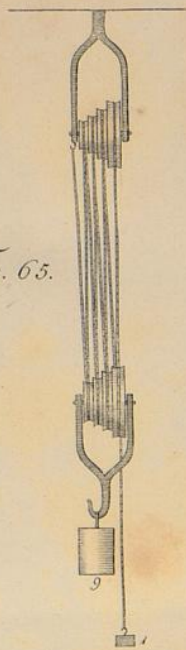
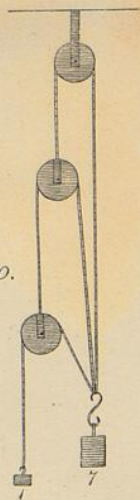
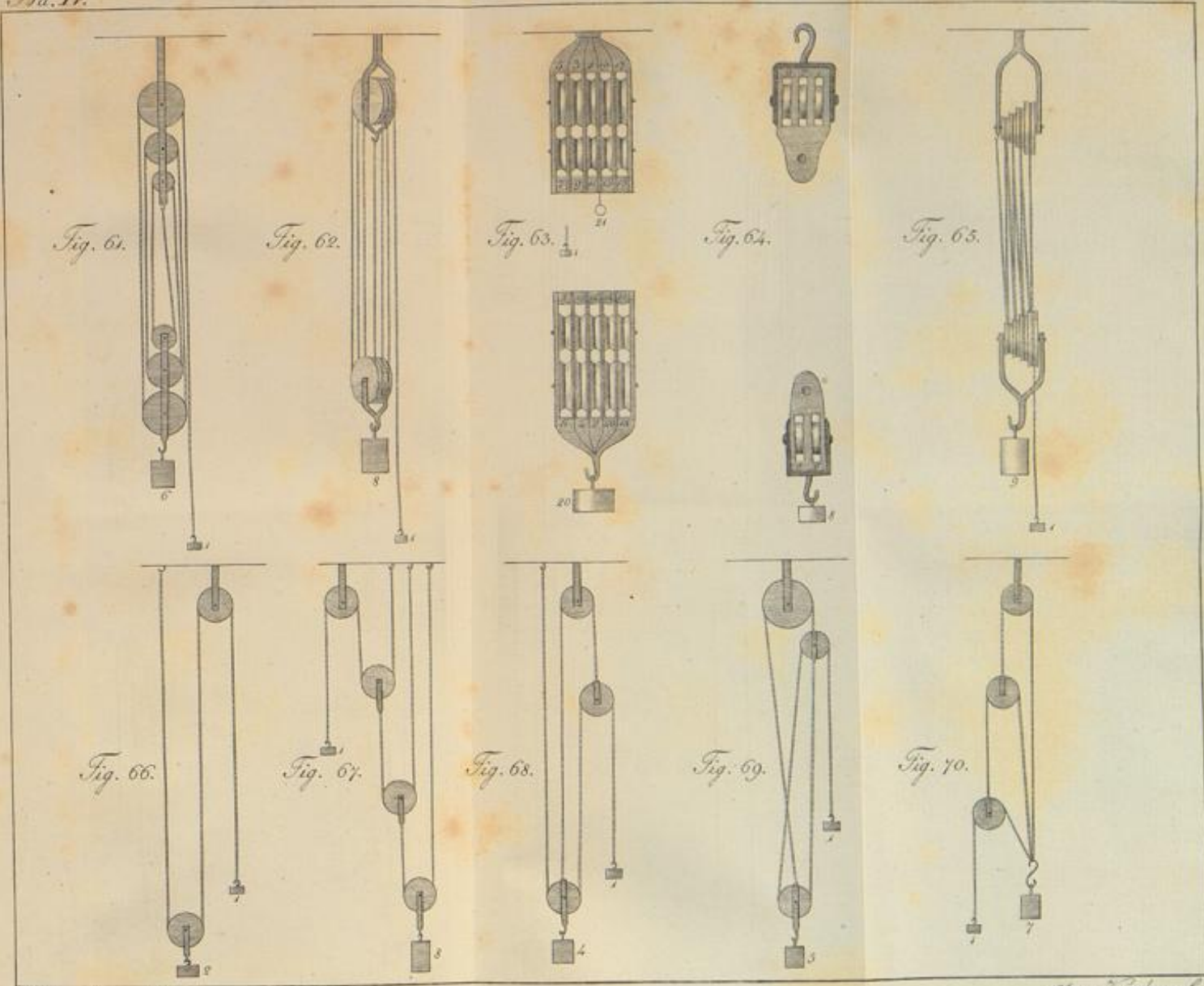


Fig. 70.



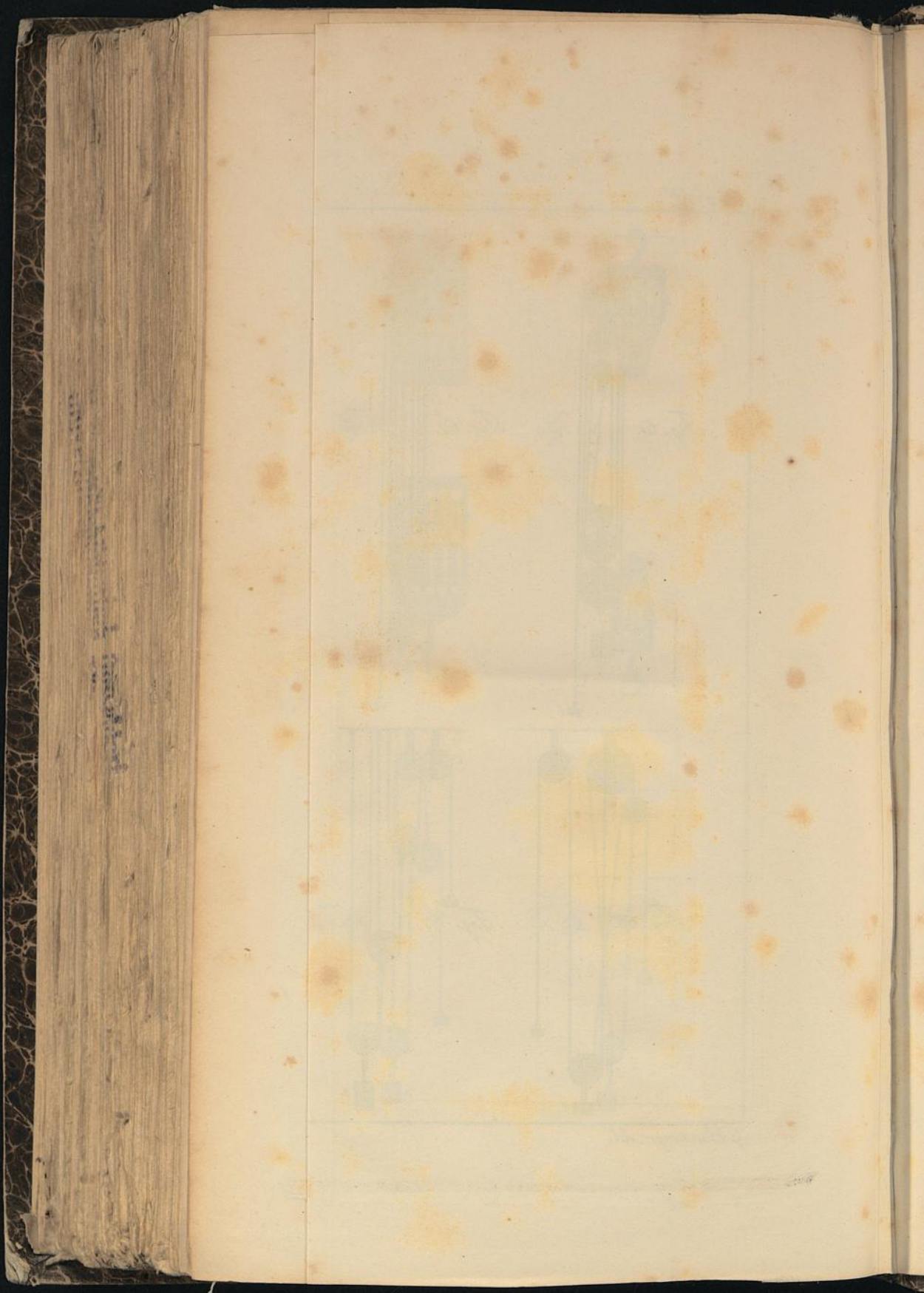
G. Dunzo

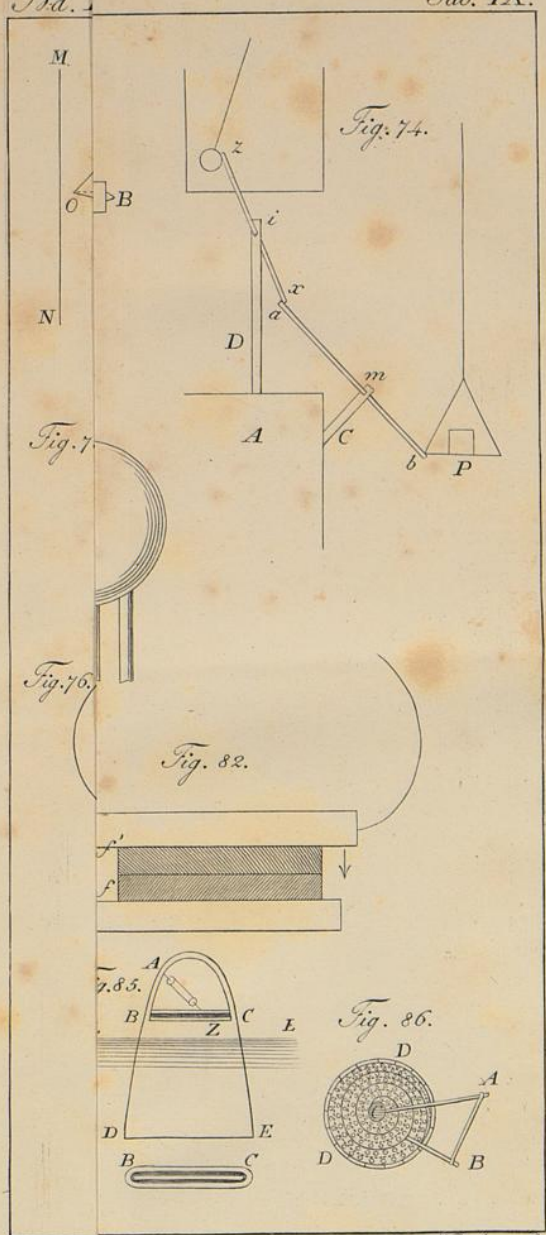
Aut. Kärcher Sc.



G. Dunsinger del.

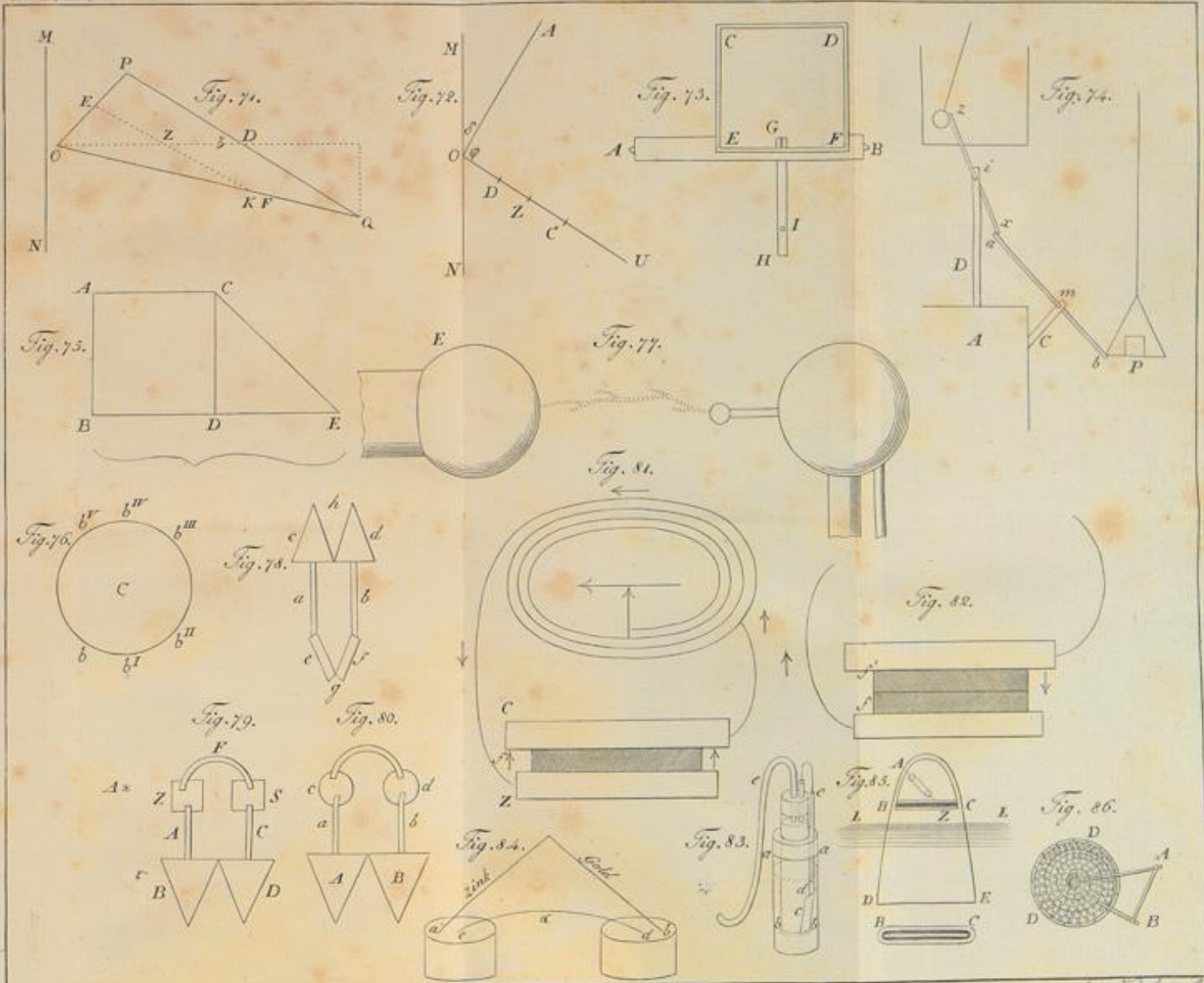
Ant. Krieger sc.





J. Danz

Ant. Narcher Sc.



G. Danzinger del.

Ant. Nardor sc.

