

Dritter Abschnitt.

Die Lehre von den Gesichtswahrnehmungen.

§ 26. Von den Wahrnehmungen im Allgemeinen.

427 Wir benutzen die Empfindungen, welche Licht in unserem Sehnerven-
apparate erregt, um uns aus ihnen Vorstellungen über die Existenz, die
Form und die Lage äußerer Objecte zu bilden. Dergleichen Vorstellungen
nennen wir Gesichtswahrnehmungen. Wir haben in diesem dritten
Abschnitte der physiologischen Optik auseinanderzusetzen, was sich bisher
über die Bedingungen, unter denen Gesichtswahrnehmungen zu Stande
kommen, auf naturwissenschaftlichem Wege ermitteln liefs.

22 Diese Untersuchung tritt nothwendig zum Theil in das Gebiet der
Psychologie ein, eben weil sie sich mit der Entstehung und dem Bewusst-
werden von Vorstellungen zu beschäftigen hat. Wie schwierig auch nur
eine klare Fragestellung, geschweige denn eine Entscheidung in diesem
Gebiete ist, wo wir hauptsächlich auf Selbstbeobachtung unserer Seelen-
vorgänge angewiesen sind, ist allgemein bekannt. Doch bleibt der physikalisch-
physiologischen Untersuchung auch hier ein weites Feld der Arbeit, insofern
nämlich festgestellt werden muß und auf naturwissenschaftlichem Wege auch
festgestellt werden kann, welche besonderen Eigenthümlichkeiten der physi-
kalischen Erregungsmittel und der physiologischen Erregung Veranlassung
geben zur Ausbildung dieser oder jener besonderen Vorstellung über die
Art der wahrgenommenen äußerer Objecte. Wir werden also in dem vor-
liegenden Abschnitte zu untersuchen haben, an welche besonderen Eigen-
thümlichkeiten der Netzhautbilder, der Muskelgefühle u. s. w. sich die Wahr-
nehmung einer bestimmten Lage des gesehenen Objects in Bezug auf Richtung
und Entfernung anknüpft, von welchen Besonderheiten der Bilder die Wahr-
nehmung einer nach drei Richtungen ausgedehnten körperlichen Form des
Objects abhängt, unter welchen Umständen es, mit beiden Augen gesehen,
einfach oder doppelt erscheint u. s. w. Unser Zweck ist also hierbei
wesentlich nur das Empfindungsmaterial, welches zur Bildung von Vorstellungen
Veranlassung giebt, in denjenigen Beziehungen zu untersuchen, welche für
die daraus hergeleiteten Wahrnehmungen wichtig sind. Dieses Geschäft
kann ganz nach naturwissenschaftlichen Methoden ausgeführt werden. Wir

werden dabei nicht vermeiden können, auch von psychischen Thätigkeiten und den Gesetzen derselben, so weit sie bei der sinnlichen Wahrnehmung in Betracht kommen, zu sprechen, aber wir werden die Ermittlung und Beschreibung dieser psychischen Thätigkeiten nicht als einen wesentlichen Theil unserer vorliegenden Arbeit betrachten, weil wir dabei den Boden sicherer That-sachen und einer auf allgemein anerkannte und klare Principien gegründeten Methode kaum würden festhalten können. So glaube ich wenigstens vorläufig, das Bereich des psychologischen Theils der Physiologie der Sinne gegen die reine Psychologie abgrenzen zu müssen, deren wesentliche Aufgabe es ist, die Gesetze und Natur der Seelenthätigkeiten, so weit dies möglich ist, festzustellen.

Der besondere Charakter dieser Schwierigkeiten, mit denen die Psychologie zu kämpfen hat, scheint mir zunächst darin zu liegen, daß die Art und Weise, wie wir die Vorgänge in unserem Seelenleben wahrnehmen, gänzlich verschieden ist von allen Wahrnehmungen, die sich auf äußere Objecte beziehen, und die Qualitäten der darauf bezüglichen Empfindungen gar keine Ähnlichkeit mit denen der äußeren Sinne haben, mit diesen also gar keine Art der Vergleichung, keine Beziehung der Ähnlichkeit zulassen. Dadurch ist jede Art von Analogie zwischen beiderlei Klassen von Wahrnehmungen ausgeschlossen. Dies Verhältniß ist durchaus treffend bezeichnet worden, indem man die Wahrnehmungen der Seelenzustände, darunter auch die der Thätigkeit des bewußten Denkens und Vorstellens, einem besonderen Sinne zuschrieb, dem inneren Sinne oder der inneren Anschauung KANTS. Wie die Empfindungen des Auges, Ohres, Tastgefühles unter einander so gänzlich verschieden sind, daß man zwischen denen verschiedener Sinne gar keine Vergleichung in Bezug auf Qualität oder Intensität anstellen kann, so verhält es sich auch, wenn man Wahrnehmungen von Seelenzuständen mit solchen des Auges oder Ohres vergleichen wollte.

Daran schließt sich noch der weitere Unterschied, daß die Wahrnehmungen der äußeren Sinne sich wenigstens zum großen Theil auf gemeinsame äußere Objecte beziehen, die in bestimmter räumlicher Ordnung neben einander liegen, und daß wir jedenfalls schließlich durch Erfahrung lernen können, selbst abgesehen von der Möglichkeit angeborenen Verständnisses solcher Perceptionen, wie die gleichen Raumverhältnisse im einen oder anderen Sinne erscheinen. Dagegen lehren uns die Wahrnehmungen des inneren Sinnes durchaus nichts von einer lokalen Verschiedenheit oder einem Ortswechsel der Seelenzustände erkennen. Höchstens lassen physiologische Versuche oder pathologische Erfahrungen und gelegentliche Steigerungen der Gehirn-thätigkeit zu schmerzhaften Erregungen und Ermüdungen dieses Organs uns erkennen, daß die Seelenthätigkeiten an die normale Leistungsfähigkeit des Gehirns gebunden seien, und daß dieselben also auch örtlich diesem Organe zukommen, während wir den Objecten, die wir durch die äußeren Sinne wahrnehmen, ihren Ort im äußeren, unseren Kopf umgebenden Raume anzuweisen genöthigt sind.

Jedenfalls erscheinen uns niemals gleichzeitig vorhandene Acte des Bewusstseins, so weit solche etwa sollten vorkommen können, als neben einander an verschiedene Orte gebunden, sondern immer nur als gleichzeitig bestehend oder höchstens als schnell mit einander wechselnd. Diese Unabhängigkeit von allen örtlichen Unterschieden, wenigstens so weit solche wahrgenommen werden können, bildet einen tiefgreifenden Unterschied gegen alle Erscheinungen der Körperwelt.

Dagegen ordnen sich in der That auch die Wahrnehmungen des innern Sinnes, ebenso wie die der äußeren Sinne, jede in einen bestimmten Augenblick der Zeitreihe ein. Es geschieht dies durch eine fortdauernde Thätigkeit des Gedächtnisses. Wir haben in jedem Augenblick unseres wachen Lebens außer dem Bewusstsein unseres gegenwärtigen Seelenzustandes noch Erinnerungen an die nächst vorausgegangenen im Bewusstsein und sind uns auch deutlich der Verschiedenheit dieser beiden Arten von Zuständen, der gegenwärtigen Wahrnehmung und der Erinnerung, bewusst, so daß wir sie sicher unterscheiden. So lange sie uns überhaupt im Gedächtniß stehen bleiben, bleibt auch die Erinnerung an ihre Zeitfolge. Auf diese Weise erhält durch die beschriebene Thätigkeit unseres Gedächtnisses jeder neu eintretende Act unseres Bewusstseins nothwendig von vorn herein seine Stelle in der Zeitreihe nach dem schon Erlebten, vor dem erst noch zu Erlebenden angewiesen.

Durch diese Einordnung in die Zeitreihe wird nun auch die Möglichkeit gegeben, regelmässige Wiederholungen solcher Zeitfolgen von gleichartigen Wahrnehmungen als solche zu beobachten und wiederzuerkennen. Im Allgemeinen werden die Fälle selten sein, wo die Wiederholung der ursprünglichen Wahrnehmung ganz in derselben Weise ein zweites oder drittes Mal wieder vor sich geht, wie sie das erste Mal erfolgt ist, weil unsere Perceptionen, wie wir bald erfahren, durch willkürliche Bewegungen unserer Glieder und Änderung der Beobachtungsweise ebenfalls geändert werden, selbst wenn der Zustand der Außenwelt ungeändert geblieben ist. Ob letzteres der Fall ist, davon können wir uns in jedem beliebigen Augenblick durch Rückkehr in die frühere Innervation unserer Muskeln überzeugen. Dadurch wird allerdings die Auffindung der Gesetzmässigkeit in der Zeitfolge der von uns beobachteten Ereignisse außerordentlich viel verwickelter gemacht.

Erst nachdem wir die Änderungen in der Erscheinungsweise der uns umgebenden Objecte, die durch unsere willkürlichen Handlungen und Bewegungen hervorgerufen werden, und ihre Abhängigkeit von unseren verschiedenen Willensimpulsen vollständig kennen gelernt haben, können wir hoffen, sicher zu erkennen, daß die genügenden Vorbedingungen für den Eintritt einer bestimmten zu erwartenden Folge gegeben sind, und andererseits den Eintritt oder das Ausbleiben dieser Folge selbst durch die entsprechenden Sinneseindrücke festzustellen.

Die Schwierigkeiten und Verwickelungen dieser Aufgaben kennen wir sehr wohl aus allen naturwissenschaftlichen Untersuchungen, wo wir

das Reelle, zur Zeit Bestehende, herauszulösen haben aus seinen verschiedenen Erscheinungsweisen. Das wichtigste Mittel, diese Aufgabe zu lösen, ist uns gegeben in der Willkürlichkeit unserer Bewegungen, mittels deren wir in jedem uns beliebigen Augenblick bei der Rückkehr in die frühere Beobachtungsweise constatiren können, ob der frühere Eindruck vollständig wiederkehrt, oder ob er geändert ist. Wenn diese Rückkehr in jedem uns beliebigen Augenblick unverändert stattfindet, schliessen wir auf dauerndes Bestehen eines unveränderten Objects und betrachten die inzwischen durch bestimmte Willensimpulse eingetretenen Veränderungen als Änderungen der Erscheinungsweise, deren Abhängigkeit von den wechselnden Innervationen wir dabei kennen zu lernen Gelegenheit haben.

Alle die hier besprochenen Regelmäßigkeiten in der Zeitfolge von verschiedenen Vorgängen unseres Bewusstseins können bei hinreichend häufiger und ausnahmsloser Wiederholung gleichartiger Beobachtungen der Verallgemeinerung durch Induction unterliegen und so die Bedeutung allgemeiner Sätze erlangen, die als Grundlage weiterer Schlüsse benutzt werden können.

Um aber zur Überzeugung von der Allgemeingültigkeit solcher inductiv gefundener Sätze gelangen zu können, wird verlangt werden müssen, daß auch die Wahrnehmungen der betreffenden Vorgänge fein und mannigfaltig genug seien, um an ihnen alle diejenigen Unterschiede des objectiven Bestandes sicher erkennen zu können, welche ihren Einfluß durch Abänderung der Folgezustände geltend zu machen im Stande sind. Wo die Feinheit der Perception dazu nicht ausreicht, würden wir natürlich nicht begreifen können, warum in zwei Fällen, die uns anscheinend vollkommen gleich erscheinen, sich ganz verschiedene Folgen entwickeln. An solchen Fällen würde unser Bestreben, sie auf ein Gesetz zurückzuführen oder sie zu begreifen, scheitern müssen.

Nun sind in der That die beiden Grenzen, an denen die Wahrnehmungen des inneren Sinnes sich an Erregungen des Nervensystems anschließen, durch Feinheit, Sicherheit und Reichthum ihres Empfindungsumfanges ausgezeichnet. An der einen Seite haben wir die ungeheuere Mannigfaltigkeit der Empfindungen, die nicht nur in den fünf verschiedenen Sinnen einen fast unübersehbaren Reichthum von Qualitätsunterschieden entwickeln, sondern daneben auch noch die ebenso unabsehbaren Mannigfaltigkeiten der räumlichen Vertheilung der Farben und Helligkeiten im Gesichtsfelde und der Accordverbindungen musikalischer Töne. Indem diese Eindrücke in das Bewußtsein aufgenommen, d. h. percipirt werden, bleibt ihre ganze Mannigfaltigkeit unvermindert bestehen, jedes Bild im Sehfelde bleibt unterscheidbar von jedem anderen. Jede Stelle darin kann unabhängig von jeder anderen Ziel der Aufmerksamkeit werden und mit ihrem früheren Aussehen verglichen werden. Demgemäß ist auch das Bestreben der physiologischen Optik, die Gesetze zu finden, nach denen die Gesichtswahrnehmungen von den Nerven-erregungen abhängen, ein verhältnißmäßsig sehr erfolgreiches und fruchtbares gewesen.

Ebenso reich und sicher ist andererseits bei einem erwachsenen gesunden Menschen die Kenntniß der Innervationen, die er seinen motorischen Nerven geben muß, um irgend eine beabsichtigte Stellung seiner Glieder oder Richtung seines Blicks hervorzubringen. Wir werden später sehen, daß als Absicht einem solchen Willensimpulse der Regel nach die lebhafteste Vorstellung von derjenigen unmittelbar wahrnehmbaren Veränderung seiner Glieder oder Organe zu Grunde liegt, welche er hervorrufen will. Es ist dies durchaus nicht immer die Kenntniß der Mittel, die er zu diesem Zwecke in Anwendung setzen muß, nicht einmal immer eine deutliche Vorstellung der Bewegungen und Stellungen der Körpertheile, welche er brauchen muß. So z. B. beim Kehlkopf, wenn wir singen oder sprechen wollen, beim Auge, wenn wir ein Object betrachten, dafür accommodiren wollen, weiß der ununterrichtete Mensch nichts von der Stellung seiner Organe.

Ganz anders verhält es sich mit den zwischen diesen beiden äußersten Grenzen des Gebiets liegenden rein seelischen Veränderungen, den Vorgängen, die wir als Wünsche, Begehren, Absichten, Willensacte bezeichnen, so wie mit dem Auftauchen und Verschwinden der Vorstellungen, Phantasien und Erinnerungen in unserem Gedächtniß. So weit sie sich auf ein bestimmtes vorstellbares Ziel richten, lassen sie sich individuell bezeichnen. Aber meist sind sie schwankend, veränderlich, unbestimmt und bringen kein Maß für ihre Intensität mit sich, so daß die Kraft, mit der sie sich gegenseitig begünstigen oder hindern, nicht zu bestimmen oder abzuwägen ist. Daher kann auch kaum von einem Verständniß einer Gesetzmäßigkeit in ihrem Wechsel und der Richtung ihrer Entwicklung die Rede sein.

Nur ein Thema, was hierher gehört, wird uns noch beschäftigen, nämlich die Thätigkeit des Gedächtnisses; diese ist aber größtentheils unbewußt.

Ich habe vorher erwähnt, welches Gewicht die inductive Verallgemeinerung unserer Erfahrungen über die willkürlichen Veränderungen unserer Beobachtungsweise von Objecten der Außenwelt dadurch gewinnt, daß diese Beobachtungen in jedem uns beliebigen Moment erfolgen können. In der That erscheint uns der Moment beliebig und nur durch unseren Willensentschluß bestimmt. Welche verborgenen Gründe aber in diesem Moment den Entschluß hervorgerufen haben, wissen wir selbst nicht. Darauf kommt es in diesem Falle auch nicht an. Denn selbst, wenn solche existirt und den Entschluß beeinflusst hätten, so wäre der entscheidende Anstoß doch immer nur durch Vorgänge unseres Bewußtseins gegeben worden, so daß also die Kette der Ursachen durch dieses hindurchgelaufen ist und ein unmittelbar durch innere Anschauung beobachtetes Glied in derselben besteht und sie zusammenhält.

Wir kennen in diesem Fall schon den angewandten Willensimpuls als ein Ereigniß, welches bestimmte Folgen in der Außenwelt erfahrungsgemäß nach sich zieht, und wissen andererseits ebenso erfahrungsgemäß, daß, wenn wir den Willensimpuls nicht geben, sondern ihn im Stadium des Wunsches

oder der vorgestellten Absicht beharren lassen, auch die entsprechenden Folgen in der Außenwelt ausbleiben.

Wir haben nun noch zu reden von der Art, wie unsere Vorstellungen und ⁴⁴⁷ Wahrnehmungen durch inductive Schlüsse gebildet werden. Das Wesen unserer Schlüsse finde ich am besten auseinandergesetzt in der Logik von STUART MILL. Sobald der Vordersatz des Schlusses nicht ein Gebot ist, welches durch fremde Autorität für unser Handeln oder Glauben aufgestellt ist, sondern ein Satz, der sich auf die Wirklichkeit bezieht und also nur das Resultat der Erfahrung sein kann, so lehrt uns der Schluß in der That nichts Neues, was wir nicht schon gewußt haben, ehe wir ihn machten. Also z. B.

Major: Alle Menschen sind sterblich.

Minor: Cajus ist ein Mensch.

Conclusio: Cajus ist sterblich.

Den Major, daß alle Menschen sterblich sind, welches ein Erfahrungssatz ist, dürfen wir eigentlich nicht aufstellen, ehe wir nicht wissen, ob die Conclusio richtig ist, daß auch Cajus, der ein Mensch ist, gestorben sei oder sterben werde. Wir müssen also des Schlußsatzes sicher sein, ehe wir noch den Major, durch welchen wir ihn beweisen wollen, aufstellen können. Das scheint freilich ein Herumgehen im Cirkel zu sein. Das wahre Verhältniß ist offenbar das: Wir und andere Menschen haben bisher ausnahmslos beobachtet, daß kein Mensch über ein gewisses Alter hinaus gelebt hat. Die Beobachtenden haben diese Erfahrungen, daß Lucius, Flavius und wie die einzelnen Menschen sonst hießen, von denen sie es wissen, gestorben sind, in den allgemeinen Satz zusammengefaßt, daß alle Menschen sterben, und haben sich berechtigt gefühlt, weil dieses Ende in allen den Fällen regelmäßig eintrat, welche beobachtet worden sind, diesen allgemeinen Satz auch für gültig zu erklären für alle diejenigen Fälle, welche noch später zur Beobachtung kommen würden, und so bewahren wir uns den Schatz von Erfahrungen, den wir oder andere Beobachter in diesem Punkte bisher gemacht haben, in Form des allgemeinen Satzes im Gedächtnisse auf, der den Major des obigen Schlusses bildet.

Es ist aber klar, daß wir zu der Überzeugung, Cajus werde sterben, auch ⁴⁴⁸ unmittelbar, ohne in unserem Bewußtsein den allgemeinen Satz zu bilden, hätten kommen können, indem wir seinen Fall mit allen uns bekannten früheren verglichen hätten, und das ist sogar die gewöhnlichere und ursprünglichere Art, durch Induction zu schliessen. Daß dergleichen Schlüsse ohne bewußte Reflexion entstehen, indem in unserem Gedächtnisse das Gleichartige der früher beobachteten Fälle sich an einander fügt und sich gegenseitig verstärkt, zeigt sich namentlich in denjenigen Fällen von inductivem Schliessen, wo es uns nicht gelingt, eine ausnahmslos geltende Regel mit genau bestimmten Grenzen ihrer Gültigkeit aus den bisherigen Erfahrungen zu abstrahiren, wie das der Fall ist bei allen verwickelten Vorgängen. So können wir z. B. aus der Analogie früherer ähnlicher Fälle zuweilen mit ziemlicher Sicherheit voraussagen, was einer unserer Bekannten thun wird, wenn er unter gewissen Umständen sich zum Handeln entscheiden wird, weil wir seinen Charakter kennen, z. B. als ehrgeizig oder als feig, ohne daß wir doch genau anzugeben wissen, wonach wir den Grad des Ehrgeizes oder der Feigheit zu messen haben, und warum der vorhandene Grad von Ehrgeiz oder Feigheit ausreichen wird, das Handeln des Menschen so zu bestimmen, wie es unserer Erwartung nach ausfallen soll.

Bei den eigentlich sogenannten und mit Bewußtsein vollzogenen Schlüssen,

wenn sie sich nicht auf Gebote, sondern auf Erfahrungssätze stützen, thun wir also in der That nichts anderes, als dafs wir mit Überlegung und sorgfältiger Prüfung diejenigen Schritte der inductiven Verallgemeinerung unserer Erfahrungen wiederholen, welche schon vorher in schnellerer Weise ohne bewusste Reflexion ausgeführt waren, entweder von uns selbst, oder von anderen Beobachtern, denen wir vertrauen. Wenn aber auch durch die Formulirung eines allgemeinen Satzes aus unseren bisherigen Erfahrungen nichts wesentlich Neues unserem bisherigen Wissen hinzugefügt wird, so ist dieselbe doch in vieler Beziehung nützlich. Einen bestimmt ausgesprochenen allgemeinen Satz können wir viel leichter im Gedächtnisse aufbewahren und anderen Menschen mittheilen, als wenn dies mit allen einzelnen Fällen geschehen müfste. Wir werden durch seine Aufstellung veranlaßt, jeden neu eintretenden Fall gerade in Bezug auf die Richtigkeit jener Verallgemeinerung genau zu prüfen, wobei jede Ausnahme uns doppelt stark auffallen wird; wir werden uns eher an die Beschränkungen der Gültigkeit erinnern, wenn wir den Satz in allgemeiner Form vor uns haben, als wenn wir alle einzelnen Fälle durchlaufen müssen. Es wird also durch eine solche bewusste Formulirung des Inductionsschlusses mancherlei gewonnen für die Bequemlichkeit und Sicherheit des Verfahrens, aber es wird im Wesentlichen nichts Neues hinzugefügt, was nicht schon in den ohne Reflexion ausgeführten Analogieschlüssen bestände, mittelst deren wir z. B. den Charakter eines Menschen aus seinen Gesichtszügen und seinen Bewegungen beurtheilen, oder nach der Kenntniß seines Charakters voraussagen, was er in einem gegebenen Falle thun wird.

Wir haben nun genau denselben Fall bei unseren Sinneswahrnehmungen. Wenn wir Erregung in denjenigen Nervenapparaten gefühlt haben, deren peripherische Enden an der rechten Seite beider Netzhäute liegen, so haben wir in millionenfach wiederholten Erfahrungen unseres ganzen Lebens gefunden, dafs ein leuchtender Gegenstand nach unserer linken Seite hin vor uns lag. Wir mußten die Hand nach links hin erheben, um das Licht zu verdecken, oder das leuchtende Object zu ergreifen, oder uns nach links hin bewegen, um uns ihm zu nähern. Wenn also in diesen Fällen kein eigentlicher bewusster Schluss vorliegt, so ist doch die
449 wesentliche und ursprüngliche Arbeit eines solchen vollzogen und das Resultat desselben erreicht, aber freilich nur durch die unbewussten Vorgänge der Association von Vorstellungen, die im dunklen Hintergrunde unseres Gedächtnisses vor sich geht und deren Resultate sich daher auch unserem Bewusstsein aufdrängen, als gewonnen durch eine uns zwingende, gleichsam äufere Macht, über die unser Wille keine Gewalt hat.

Es fehlt an diesen Inductionsschlüssen, die zur Bildung unserer Sinneswahrnehmungen führen, allerdings die reinigende und prüfende Arbeit des bewussten Denkens; dessen ungeachtet glaube ich, sie doch ihrem eigentlichen Wesen nach als Schlüsse, unbewußt vollführte Inductionsschlüsse, bezeichnen zu dürfen.

Ihrer Aufnahme in das bewusste Denken und ihrer Formulirung in der Normalform logischer Schlüsse widersteht sehr oft noch ein ihnen ganz eigenthümlicher Umstand, nämlich der, dafs wir gar nicht näher bezeichnen können, was in uns vorgegangen ist, wenn wir eine Empfindung in einer bestimmten Nervenfasern hatten, und wodurch diese zu unterscheiden ist von entsprechenden Empfindungen in anderen Nervenfasern. Haben wir z. B. eine Lichtempfindung in gewissen Fasern des Sehnervenapparates gehabt, so wissen wir nur, dafs wir eben eine Empfindung eigenthümlicher Art gehabt haben, die sich von allen anderen Sinnesempfindungen

und auch von allen anderen Gesichtsempfindungen unterschieden hat, und bei welcher wir immer ein lichtiges Object nach links hin zu finden pflegten. Wir können im natürlichen Zustande, und ehe wir Physiologie studirt haben, von der Empfindung nicht anders sprechen, und die Empfindung selbst für unser eigenes Vorstellen nicht anders begrenzen und nicht festhalten, als indem wir sie bezeichnen durch die Bedingungen, unter denen sie zu Stande gekommen ist. Ich muß sagen: „ich sehe etwas Helles nach links hin“; das ist der einzige Ausdruck, den ich der Empfindung geben kann. Dafs wir Nerven haben, dafs diese Nerven erregt worden sind, und zwar Nerven, die rechts in den Netzhäuten endigen, lernen wir erst spät durch wissenschaftliches Studium, und dadurch bekommen wir erst die Mittel, diese Art der Empfindung zu definiren, unabhängig von der Art, wie sie gewöhnlich hervorgerufen wird.

Ähnlich verhält es sich bei den meisten Sinnesempfindungen. Die Geschmacks- und Geruchsempfindungen wissen wir meistentheils selbst ihrer Qualität nach nicht anders zu bezeichnen, als durch die Benennung derjenigen Körper, welche geschmeckt oder gerochen werden, einige wenige, ziemlich unbestimmte, allgemeinere Bezeichnungen abgerechnet, wie „süfs“, „sauer“, „bitter“, „scharf“.

Übrigens scheint es, dafs die Farbennamen ursprünglich ähnlich entstanden sind. Wenigstens erhielt ich von verschiedenen Collegen, die sich mit Sprachvergleichung beschäftigen, die Auskunft, dafs die Namen für Roth meist auf Wurzeln zurückführen, die Brennen und Flamme bezeichnen, wie rubeus, *ῥοῦθρός*, roth, red. Die Namen für Grün weisen meist auf wachsende Pflanzen hin, viridis, was auf virescere, vis zurückdeutet, englisch: grow, green, deutsch: grün. Die Namen für Blau weisen auf Himmel und Luft hin wie: coeruleus, das englische blue, wie das deutsche blau auf blow, i. e. blasen. Die Griechen haben *κυάνεος* vom Meere entnommen.

Diese Urtheile, durch welche wir von unseren Sinnesempfindungen auf die Existenz einer äufseren Ursache derselben hinübergehen, können wir also auf dem gewöhnlichen Zustande unseres Bewußtseins gar nicht einmal in die Form bewußter Urtheile erheben. Das Urtheil, dafs links von mir ein helles Object sei, weil die rechts in meiner Netzhaut endenden Nervenfasern sich in Erregungszustand befinden, kann Jemand, der von der inneren Beschaffenheit des Auges nichts weiß, nur so aussprechen: „Links ist etwas Helles, weil ich es dort sehe“. Und demgemäfs kann auch die Erfahrung, dafs, wenn ich das Auge rechts drücke, die dort endenden Nervenfasern erregt werden, vom Standpuncte der täglichen Erfahrung gar nicht anders ausgesprochen werden, als so: „Wenn ich das Auge rechts drücke, sehe ich links einen hellen Schein“. Es fehlt jedes Mittel, die Empfindung anders zu beschreiben und mit andern früher gehaltenen Empfindungen zu identificiren, als dadurch, dafs man den Ort des scheinbar entsprechenden äufseren Objects bezeichnet. Deshalb haben also diese Fälle der Erfahrung das Eigenthümliche, dafs man die Beziehung der Empfindung auf ein äufseres Object gar nicht einmal aussprechen kann, ohne sie schon in der Bezeichnung der Empfindung vorauszuschicken, und ohne das schon vorauszusetzen, von dem man erst noch reden will.

Wir kommen nunmehr zu der viel bestrittenen Frage, welche Art der Übereinstimmung zwischen der Vorstellung und ihrem Object vorhanden sei, oder welche Art von Wahrheit wir unseren Vorstellungen und Perceptionen zuschreiben dürfen?

Kurz vor dem Beginn des neuen Jahrhunderts hatte KANT die Lehre von den

vor aller Erfahrung gegebenen, oder wie er sie deshalb nannte, „transcendentalen“ Formen des Anschauens und Denkens ausgebildet, in welche aller Inhalt unseres Vorstellens nothwendig aufgenommen werden muß, wenn er zur Vorstellung werden soll. Für die Qualitäten der Empfindung hatte schon LOCKE den Antheil geltend gemacht, den unsere körperliche und geistige Organisation an der Art hat, wie die Dinge uns erscheinen. In dieser Richtung nun haben die Untersuchungen über die Physiologie der Sinne, welche namentlich JOHANNES MÜLLER vervollständigte, kritisch sichtet und dann in das Gesetz von den specifischen Energien der Sinnesnerven zusammenfaßte, die vollste Bestätigung, man kann fast sagen, in einem unerwarteten Grade, gegeben und dadurch zugleich das Wesen und die Bedeutung einer solchen von vorn herein gegebenen, subjectiven Form des Empfindens in sehr entscheidender und greifbarer Weise zur Anschauung gebracht. Dieses Thema ist schon oft besprochen worden; ich kann mich deshalb hier darüber kurz fassen.

Zwischen den Sinnesempfindungen verschiedener Art kommen zwei verschiedene Grade des Unterschieds vor, erstens ein tiefer eingreifender zwischen Empfindungen, die verschiedenen Sinnen angehören, wie zwischen blau, süß, warm, hochtönend; ich habe mir erlaubt, diesen als Unterschied in der Modalität der Empfindung zu bezeichnen. Er ist so eingreifend, daß er jeden Übergang von einem zum anderen, jedes Verhältniß größerer oder geringerer Ähnlichkeit ausschließt. Ob z. B. süß dem Blau oder Roth ähnlicher sei, kann man gar nicht fragen. Die zweite Art des Unterschieds dagegen, die minder eingreifende, ist die zwischen verschiedenen Empfindungen desselben Sinnes; ich beschränke auf ihn die Bezeichnung eines Unterschiedes der Qualität. J. G. FICHTE faßt diese Qualitäten je eines Sinnes zusammen als Qualitätenkreis und bezeichnet, was ich eben Unterschied der Modalität nannte, als Unterschied der Qualitätenkreise. Innerhalb jedes solchen Kreises ist Übergang und Vergleichung möglich. Von Blau können wir durch Violett und Karminroth in Scharlachroth übergehen und z. B. aussagen, daß Gelb dem Orangeroth ähnlicher sei, als dem Blau. Die physiologischen Untersuchungen lehren nun, daß jener tief eingreifende Unterschied ganz und gar nicht abhängt von der Art des äußeren Eindrucks, durch den die Empfindung erregt ist, sondern ganz allein und ausschließlich bestimmt wird durch den Sinnesnerven, der von dem Eindrucke getroffen worden ist. Erregung des Sehnerven erzeugt nur Lichtempfindungen, ob er nun von objectivem Licht, d. h. von Ätherschwingungen, erregt werde oder von elektrischen Strömen, die man durch das Auge leitet, oder durch Druck auf den Augapfel, oder durch Zerrung des Nervenstammes bei schneller Bewegung des Blicks. Die Empfindung, die bei den letzteren Einwirkungen entsteht, ist der des objectiven Lichts so ähnlich, daß man lange Zeit an eine Lichtentwicklung im Auge geglaubt hatte. J. MÜLLER zeigte, daß eine solche durchaus nicht stattfindet, daß eben nur die Empfindung des Lichts da sei, weil der Sehnerv erregt werde.

Wie nun einerseits jeder Sinnesnerv, durch die mannigfachsten Einwirkungen erregt, immer nur Empfindungen aus dem ihm eigenthümlichen Qualitätenkreise giebt: so erzeugen andererseits dieselben äußeren Einwirkungen, wenn sie verschiedene Sinnesnerven treffen, die verschiedenartigsten Empfindungen, diese immer entnommen aus dem Qualitätenkreise des betreffenden Nerven. Dieselben Ätherschwingungen, welche das Auge als Licht fühlt, fühlt die Haut als Wärme. Dieselben Luftschwingungen, welche die Haut als Schwirren fühlt, fühlt das Ohr als

Ton. Hier ist wiederum die Verschiedenartigkeit des Eindrucks so groß, daß die Physiker sich bei der Vorstellung, Agentien, die so verschieden erschienen, wie Licht und strahlende Wärme, seien gleichartig und zum Theil identisch, erst beruhigten, nachdem durch mühsame Experimentaluntersuchungen nach allen Richtungen hin die Gleichartigkeit ihres physikalischen Verhaltens festgestellt war.

Aber auch innerhalb des Qualitätenkreises jedes einzelnen Sinnes, wo die Art des einwirkenden Objects die Qualität der erzeugten Empfindung wenigstens mitbestimmt, kommen noch die unerwartetsten Incongruenzen vor. Lehrreich ist in dieser Beziehung die Vergleichung von Auge und Ohr, da die Objecte beider, Licht und Schall, schwingende Bewegungen sind, die je nach der Schnelligkeit ihrer Schwingungen verschiedene Empfindungen erregen, im Auge verschiedener Farben, im Ohr verschiedener Tonhöhen. Wenn wir uns zur größeren Übersichtlichkeit erlauben, die Schwingungsverhältnisse des Lichts mit den Namen der durch entsprechende Tonschwingungen gebildeten musikalischen Intervalle zu bezeichnen, so ergibt sich Folgendes: Das Ohr empfindet etwa 10 Octaven verschiedener Töne, das Auge nur eine Sexte, obgleich die jenseits dieser Grenzen liegenden Schwingungen beim Schall wie beim Lichte vorkommen und physikalisch nachgewiesen werden können. Das Auge hat nur drei von einander verschiedene Grundempfindungen in seiner kurzen Scala, aus denen sich alle seine Qualitäten durch Addition zusammensetzen, nämlich Roth, Grün, Blauviolett. Diese mischen sich in der Empfindung, ohne sich zu stören. Das Ohr dagegen unterscheidet eine ungeheure Zahl von Tönen verschiedener Höhe. Kein Accord klingt gleich einem anderen Accorde, der aus anderen Tönen zusammengesetzt ist, während doch beim Auge gerade das Analoge der Fall ist. Denn gleich aussehendes Weiß kann hervorgebracht werden durch Roth und Grünblau des Spectrums, durch Gelb und Ultramarinblau, Grüngelb und Violett, Grün, Roth und Violett, oder durch je zwei, drei oder alle diese Mischungen zusammen. Wären im Ohre die Verhältnisse die gleichen, so wären gleichtönend Zusammenklänge, wie: *C* und *F*, *D* und *G*, *E* und *A*, oder *C*, *D*, *E*, *F*, *G*, *A* u. s. w. Und, was in Bezug auf die objective Bedeutung der Farbe bemerkenswerth ist, es hat noch keine einzige physikalische Beziehung aufgefunden werden können, in der gleich aussehendes Licht regelmäsig gleichwertig wäre, als allein die Wirkung auf das Auge. Endlich hängt die ganze Grundlage der musikalischen Wirkung von Consonanz und Dissonanz von dem eigenthümlichen Phänomen der Schwebungen ab. Diese beruhen auf einem schnellen Wechsel in der Intensität des Tones, welcher dadurch entsteht, daß zwei nahe gleich hohe Töne abwechselnd mit gleichen und entgegengesetzten Phasen zusammen wirken und demgemäß bald starke, bald schwache Schwingungen der mit-schwingenden Körper erregen. Das physikalische Phänomen würde beim Zusammenwirken zweier Lichtwellenzüge ganz ebenso vorkommen können, wie beim Zusammenwirken zweier Tonwellenzüge. Aber der Nerv muß erstens fähig sein, von beiden Wellenzügen afficirt zu werden, und zweitens muß er dem Wechsel von starker und schwacher Intensität schnell genug folgen können. In letzterer Beziehung ist der Gehörnerv dem Sehnerv erheblich überlegen. Gleichzeitig ist jede Faser des Hörnerven nur für Töne aus einem engen Intervall der Scala empfindlich, so daß nur ganz nahe gelegene Töne in ihr überhaupt zusammen wirken können, weit von einander entfernte nicht, oder nicht unmittelbar. Wenn sie es thun, so rührt dies von begleitenden Obertönen oder Combinationstönen her. Daher tritt beim Ohr dieser Unterschied der schwirrenden und nicht schwirrenden Intervalle, d. h.

von Consonanz und Dissonanz ein. Jede Sehnervenfasern dagegen empfindet durch das ganze Spectrum, wenn auch verschieden stark in verschiedenen Theilen. Könnte der Sehnerv überhaupt den ungeheuer schnellen Schwebungen der Lichtoscillationen in der Empfindung folgen, so würde jede Mischfarbe als Dissonanz wirken.

Wir sehen, wie alle diese Unterschiede in der Wirkungsweise von Licht und Ton durch die Art, wie der Nervenapparat gegen sie reagirt, bedingt sind.

Unsere Empfindungen sind eben Wirkungen, welche durch äußere Ursachen in unseren Organen hervorgebracht werden, und wie eine solche Wirkung sich äußert, hängt natürlich ganz wesentlich von der Art des Apparats ab, auf den gewirkt wird. Insofern die Qualität unserer Empfindung uns von der Eigenthümlichkeit der äußeren Einwirkung, durch welche sie erregt ist, eine Nachricht giebt, kann sie als ein Zeichen derselben gelten, aber nicht als ein Abbild. Denn vom Bilde verlangt man irgend eine Art der Gleichheit mit dem abgebildeten Gegenstande, von einer Statue Gleichheit der Form, von einer Zeichnung Gleichheit der perspectivischen Projection im Gesichtsfelde, von einem Gemälde auch noch Gleichheit der Farben. Ein Zeichen aber braucht gar keine Art der Ähnlichkeit mit dem zu haben, dessen Zeichen es ist. Die Beziehung zwischen beiden beschränkt sich darauf, daß das gleiche Object, unter gleichen Umständen zur Einwirkung kommend, das gleiche Zeichen hervorruft, und daß also ungleiche Zeichen immer ungleicher Einwirkung entsprechen.

Der populären Meinung gegenüber, welche auf Treue und Glauben die volle Wahrheit der Bilder annimmt, die uns unsere Sinne von den Dingen liefern, mag dieser Rest von Ähnlichkeit, den wir anerkennen, sehr geringfügig erscheinen. In Wahrheit ist er es nicht; denn damit kann noch eine Sache von der allergrößten Tragweite geleistet werden, nämlich die Abbildung der Gesetzmäßigkeit in den Vorgängen der wirklichen Welt. Jedes Naturgesetz sagt aus, daß auf Vorbedingungen, die in gewisser Beziehung gleich sind, immer Folgen eintreten, die in gewisser anderer Beziehung gleich sind. Da Gleiches in unserer Empfindungswelt durch gleiche Zeichen angezeigt wird, so wird der naturgesetzlichen Folge gleicher Wirkungen auf gleiche Ursachen auch eine ebenso regelmässige Folge im Gebiete unserer Empfindungen entsprechen.

Wenn also unsere Sinnesempfindungen in ihrer Qualität auch nur Zeichen sind, deren besondere Art ganz von unserer Organisation abhängt, so sind sie doch nicht als leerer Schein zu verwerfen, sondern sie sind eben Zeichen von Etwas, sei es von etwas Bestehendem oder Geschehendem, und was das Wichtigste ist, das Gesetz dieses Geschehens können sie uns abbilden.

Die Qualitäten der Empfindung also erkennt auch die Physiologie als bloße Form der Anschauung an. KANT aber ging weiter. Nicht nur die Qualitäten der Sinnesempfindungen sprach er als gegeben durch die Eigenthümlichkeiten unseres Anschauungsvermögens an, sondern auch Zeit und Raum, da wir nichts in der Außenwelt wahrnehmen können, ohne daß es

zu einer bestimmten Zeit geschieht und an einen bestimmten Ort gesetzt wird; die Zeitbestimmung kommt sogar auch jeder innerlichen Wahrnehmung zu. Er bezeichnete deshalb die Zeit als die gegebene und nothwendige, transcendente Form der inneren, den Raum als die entsprechende der äußeren Anschauung. Auch die räumlichen Bestimmungen also betrachtet KANT für ebensowenig der Welt des Wirklichen, oder „dem Dinge an sich“ angehörig, wie die Farben, die wir sehen, den Körpern an sich zukommen, sondern durch unser Auge in sie hineingetragen sind. Selbst hier wird die naturwissenschaftliche Betrachtung bis zu einer gewissen Grenze mitgehen können. Wenn wir nämlich fragen, ob es ein gemeinsames und in unmittelbarer Empfindung wahrnehmbares Kennzeichen giebt, durch welches sich für uns jede auf Gegenstände im Raum bezügliche Wahrnehmung charakterisirt: so finden wir in der That ein solches in dem Umstande, daß Bewegung unseres Körpers uns in andere räumliche Beziehungen zu den wahrgenommenen Objecten setzt und dadurch auch den Eindruck, den sie auf uns machen, verändert. Der Impuls zur Bewegung aber, den wir durch Innervation unserer motorischen Nerven geben, ist etwas unmittelbar Wahrnehmbares. Daß wir etwas thun, indem wir einen solchen Impuls geben, fühlen wir. Was wir thun, wissen wir nicht unmittelbar. Daß wir die motorischen Nerven in Erregungszustand versetzen oder innerviren, daß deren Reizung auf die Muskeln übergeleitet wird, diese sich in Folge dessen zusammenziehen und die Glieder bewegen, lehrt uns erst die Physiologie. Wiederum aber wissen wir auch ohne wissenschaftliches Studium, welche wahrnehmbare Wirkung jeder verschiedenen Innervation folgt, die wir einzuleiten im Stande sind. Daß wir dies durch häufig wiederholte Versuche und Beobachtungen lernen, ist in einer großen Reihe von Fällen sicher nachweisbar. Wir können noch im erwachsenen Alter lernen, die Innervationen zu finden, die zum Aussprechen der Buchstaben einer fremden Sprache oder für eine besondere Art der Stimmbildung beim Singen nöthig sind; wir können Innervationen lernen, um die Ohren zu bewegen, um mit den Augen einwärts und auswärts zu schießen u. s. w. Die Schwierigkeit in allen diesen Fällen ist nur die, die Innervationen zu finden, die zu solchen bisher nicht ausgeführten Bewegungen nöthig sind. Wir fühlen also, daß und wann wir Impulse geben, wir unterscheiden gleiche und ungleiche Impulse und lernen aus Erfahrung die wahrnehmbare Wirkung kennen, welche die einzelnen verschiedenen hervorbringen, aber ohne von den vermittelnden Zwischengliedern etwas zu wissen.

Wenn wir nun Impulse solcher Art geben (den Blick wenden, die Hände bewegen, hin und hergehen), so finden wir, daß dadurch die gewissen Qualitätenkreisen angehörigen Empfindungen (nämlich die auf räumliche Objecte bezüglichen) geändert werden können; andere psychische Zustände, deren wir uns bewußt sind, Erinnerungen, Absichten, Wünsche, Stimmungen durchaus nicht. Dadurch ist in unmittelbarer Wahrnehmung ein durchgreifender Unterschied zwischen den ersteren und letzteren gesetzt. Wenn

wir also dasjenige Verhältniß, welches wir durch unsere Willensimpulse unmittelbar ändern, dessen Art uns übrigens noch ganz unbekannt sein könnte, ein räumliches nennen wollen, so treten die Wahrnehmungen psychischer Thätigkeiten gar nicht in ein solches ein; wohl aber müssen alle Empfindungen der äußeren Sinne unter irgend welcher Art der Inneration vor sich gehen, d. h. räumlich bestimmt sein. Demnach wird uns der Raum auch sinnlich erscheinen, behaftet mit den Qualitäten unserer Bewegungsempfindungen, als das, durch welches hin wir uns bewegen, durch welches hin wir blicken können. Die Raumanschauung würde also in diesem Sinne eine subjective Anschauungsform sein, wie die Empfindungsqualitäten Roth, Süß, Kalt. Natürlich würde dies für jene ebenso wenig wie für diese den Sinn haben, daß die Ortsbestimmung eines bestimmten einzelnen Gegenstandes ein bloßer Schein sei.

Als die nothwendige Form der äußeren Anschauung aber würde der Raum von diesem Standpunkte aus erscheinen, weil wir eben das, was wir als räumlich bestimmt wahrnehmen, als Außenwelt zusammenfassen. Dasjenige, an dem keine Raumbeziehung wahrzunehmen ist, begreifen wir als die Welt der inneren Anschauung, als die Welt des Selbstbewußtseins.

Und eine gegebene, vor aller Erfahrung mitgebrachte Form der Anschauung würde der Raum sein, insofern seine Wahrnehmung an die Möglichkeit motorischer Willensimpulse geknüpft wäre, für die uns die geistige und körperliche Fähigkeit durch unsere Organisation gegeben sein muß, ehe wir Raumanschauung haben können.

444 Was zunächst die Eigenschaften der Objecte der Außenwelt betrifft, so zeigt eine leichte Überlegung, daß alle Eigenschaften, die wir ihnen zuschreiben können, nur Wirkungen bezeichnen, welche sie entweder auf unsere Sinne oder auf andere Naturobjecte ausüben. Farbe, Klang, Geschmack, Geruch, Temperatur, Glätte, Festigkeit gehören der ersteren Klasse an, sie bezeichnen Wirkungen auf unsere Sinnesorgane. Glätte und Festigkeit bezeichnen den Grad des Widerstandes, den die berührten Körper entweder der gleitenden Berührung oder dem Drucke der Hand darbieten. Statt der Hand können aber auch andere Naturkörper eintreten, ebenso für die Prüfung anderer mechanischer Eigenschaften, der Elasticität und Schwere. Die chemischen Eigenschaften beziehen sich ebenfalls auf Reactionen, d. h. Wirkungen, welche der betrachtete Naturkörper auf andere ausübt. Ebenso ist es mit den anderen physikalischen Eigenschaften der Körper, den optischen, elektrischen, magnetischen. Überall haben wir es mit Wechselbeziehungen verschiedener Körper auf einander zu thun, mit Wirkungen auf einander, welche von den Kräften abhängen, die verschiedene Körper auf einander ausüben. Denn alle Naturkräfte sind Kräfte, welche ein Körper auf den anderen ausübt. Wenn wir uns die bloße Materie ohne Kräfte denken, so ist sie auch ohne Eigenschaften, abgesehen von ihrer verschiedenen Vertheilung im Raume und ihrer Bewegung. Alle Eigenschaften der Naturkörper kommen deshalb auch erst zu Tage, wenn wir sie in die entsprechende Wechselwirkung mit anderen Naturkörpern oder mit unseren Sinnesorganen setzen. Da aber solche Wechselwirkung in jedem Augenblicke eintreten kann, beziehlich auch durch unseren Willen in einem beliebigen Augenblicke herbeigeführt werden kann, und wir dann immer die eigenthümliche Art der Wechsel-

wirkung eintreten sehen, so schreiben wir den Objecten eine dauernde und stets zur Wirksamkeit bereite Fähigkeit zu solchen Wirkungen zu. Diese dauernde Fähigkeit nennen wir Eigenschaft.

Daraus geht nun hervor, daß in Wahrheit die Eigenschaften der Naturobjecte trotz dieses Namens gar nichts dem einzelnen Objecte an und für sich Eigenes bezeichnen, sondern immer eine Beziehung zu einem zweiten Objecte (einschließlich unserer Sinnesorgane) bezeichnen. Die Art der Wirkung muß natürlich immer von den Eigenthümlichkeiten sowohl des wirkenden Körpers abhängen, als von denen des Körpers, auf welchen gewirkt wird. Darüber sind wir auch keinen Augenblick in Zweifel, wenn wir von solchen Eigenschaften der Körper reden, welche sich zeigen, wenn der eine auf einen anderen, ebenfalls der Außenwelt angehörigen Körper wirkt, z. B. bei den chemischen Reactionen. Bei den Eigenschaften dagegen, welche auf Wechselbeziehungen der Dinge zu unseren Sinnesorganen beruhen, sind die Menschen von jeher geneigt gewesen, es zu vergessen, daß wir es auch hier mit der Reaction gegen ein besonderes Reagens, nämlich unserem Nervenapparat zu thun haben, und daß auch Farbe, Geruch und Geschmack, Gefühl der Wärme und Kälte Wirkungen sind, die ganz wesentlich von der Art des Organs, auf welches gewirkt wird, abhängen. Allerdings sind die Reactionen der Naturobjecte auf unsere Sinne die am häufigsten und am allgemeinsten wahrgenommenen, sie haben für unser Wohlsein und für unsere Behaglichkeit die überwiegendste Wichtigkeit; das Reagens, an welchem wir sie zu erproben haben, ist uns von Natur mitgegeben, aber dadurch wird das Verhältniß nicht anders.

Die Frage zu stellen, ob der Zinnober wirklich roth sei, wie wir ihn sehen, ⁴⁴⁵ oder ob dies nur eine sinnliche Täuschung sei, ist deshalb sinnlos. Die Empfindung von Roth ist die normale Reaction normal gebildeter Augen für das von Zinnober reflectirte Licht. Ein Rothblinder wird den Zinnober schwarz oder dunkelgraugelb sehen; auch dies ist die richtige Reaction für sein besonders geartetes Auge. Er muß nur wissen, daß sein Auge eben anders geartet ist, als das anderer Menschen. An sich ist die eine Empfindung nicht richtiger und nicht falscher als die andere, wenn auch die Rothsehenden eine große Majorität für sich haben. Überhaupt existirt die rothe Farbe des Zinnobers nur, insofern es Augen giebt, die denen der Majorität der Menschen ähnlich beschaffen sind. Genau mit demselben Rechte ist es eine Eigenschaft des Zinnobers, schwarz zu sein, nämlich für die Rothblinden. Überhaupt ist das vom Zinnober zurückgeworfene Licht an sich durchaus nicht roth zu nennen, es ist nur für bestimmte Arten von Augen roth. Wenn wir von Eigenschaften der Körper sprechen, die sie in Bezug auf andere Körper der Außenwelt haben, vergessen wir nicht in der Sprache auch den Körper zu bezeichnen, in Bezug auf welchen die Eigenschaft vorhanden ist. Wir sagen: „Blei ist löslich in Salpetersäure, es ist nicht löslich in Schwefelsäure“. Wenn wir bloß sagen wollten: „Blei ist löslich“, so würden wir sogleich bemerken, daß dies eine unvollständige Behauptung ist, und würden sogleich fragen müssen, worin es löslich sei. Wenn wir aber sagen, „Zinnober ist roth“, so versteht es sich implicite von selbst, daß er für unsere Augen roth ist, und für die Augen anderer Menschen, welche wir als gleich beschaffen voraussetzen. Wir glauben, das nicht erwähnen zu brauchen, und deshalb vergessen wir es auch wohl und können verleitet werden, zu glauben, die Röthe sei eine dem Zinnober oder dem von ihm reflectirten Lichte, ganz unabhängig von unseren Sinnesorganen zukommende Eigenschaft. Etwas anderes ist es, wenn wir behaupten, daß die Wellenlängen des

vom Zinnober zurückgeworbenen Lichtes eine gewisse Länge haben. Das ist eine Aussage, die wir unabhängig von der besonderen Natur unseres Auges machen können, bei der es sich dann aber auch nur um Beziehungen zwischen der Substanz und den verschiedenen Ätherwellensystemen handelt.

n Übrigens halte ich die Meinung vieler modernen Kantianer, daß eben deshalb das „Ding an sich“ nur ein transcendentaler Schein sei, für eine KANT nur untergeschobene Meinung. Darüber kann nach seinen Sätzen ja kein Zweifel bleiben, daß wir die Außenwelt nur durch eine Zeichensprache kennen, und daß unsere Bilder von den Dingen in unserer Vorstellung nicht ihren Objecten gleich sind. Aber das Verhältniß, wie eine transcendentale Form die Anschauung der Gegenstände verändern kann, ist an dem Beispiel der Qualitäten unserer Sinnesempfindungen sehr gut zu erläutern. Das Auge kann Alles, was es wahrnimmt, nur in der Form von Licht- und Farbenempfindungen wahrnehmen. Daß es Alles nur in dieser Weise sieht, beruht in seiner ihm von Anfang an gegebenen Structur und ist ganz unabhängig von den Objecten, die es sieht. Aber daß es an einer Stelle des Sehfeldes Dunkel sieht, an einer zweiten Hell, hier Roth, dort Gelb, und daß diese Eindrücke mit der Zeit wechseln, das hängt sicherlich nicht bloß von seiner angeborenen Anschauungsform ab, sondern von unabhängigen Ursachen, die auf das Organ einwirken, und von denen wir Näheres nur erfahren können, indem wir die Gesetze ihrer Einwirkung studiren.

Aber genau dieselbe Betrachtung läßt sich auch auf die Denkform der Causalität anwenden. Was wir zu begreifen streben, können wir nur nach dieser Form begreifen, indem wir Gesetze der Veränderungen suchen. Das Auge kann nichts sehen, was ihm nicht als Licht und Farbe erscheint; ebenso kann der Geist nichts begreifen, in dem er kein Gesetz findet. Daraus folgt aber offenbar nicht, daß es ein leerer und trügerischer Schein sei, wenn für bestimmte Vorgänge unter bestimmten Bedingungen sich das entsprechende Gesetz finden läßt.

Wir nennen unsere Vorstellungen von der Außenwelt wahr, wenn sie uns genügende Anweisung über die Folgen unserer Handlungen der Außenwelt gegenüber geben und uns richtige Schlüsse über die zu erwartenden Veränderungen derselben ziehen lassen. Diese Art der Wahrheit kommt den richtig gebildeten Vorstellungen eines erwachsenen gesunden Menschen bis auf seltene Ausnahmefälle jedenfalls zu. Nur solche synthetische Urtheile, die durch mögliche Beobachtung jetzt oder künftig bestätigt werden können, sei es in innerer oder äußerer Anschauung, haben auf diese Bezeichnung Anspruch. Rein analytische Urtheile, die nur die in der Definition des Objectes enthaltenen Merkmale diesem beilegen, würde ich nur als richtig, nicht als wahr bezeichnen. Sie sagen nichts über die Wirklichkeit aus.

Diese Art der Wahrheit, welche durch zweckmäßig ausgeführte Handlungen und die dabei gemachten Beobachtungen bestätigt werden kann, kommt der überwiegenden Mehrzahl der menschlichen Wahrnehmungen offenbar zu. Von einer anderen wissen wir jedenfalls nichts, und nach einer anderen

zu suchen, wäre meines Erachtens ein Streben ohne Sinn, nach einem Zweck gerichtet, dessen Begriff sich selbst widerspricht.

Höchstens bei einigen Arten von Wahrnehmungen durch den inneren Sinn könnte die Frage aufgeworfen worden, ob das Bild des Objects nicht dem Object gleichen könne, z. B. die Erinnerung an eine bei besonderer Veranlassung früher aufgetauchte Erinnerung würde meistens gleichzeitig eine Erneuerung dieser Erinnerung sein und als gleichartig ihrem Object betrachtet werden können. Dagegen schon die Erinnerung an einen früher gehegten Wunsch, eine Absicht oder an einen einst gefassten Entschluß ist nicht nothwendig gleichzeitig eine Erneuerung des Wunsches, der Absicht, des Entschlusses. Solche Erinnerungen sind also auch nicht nothwendig genaue Abbilder ihrer Originale, wenn sie auch in unserem Bewußtsein als solche gelten. Noch weniger gilt dies für die Wahrnehmungen durch die äußeren Sinne. Denn diesen gegenüber beruht die Sicherheit, mit der wir die Wirklichkeit als solche erkennen, wesentlich darauf, daß in solchem Falle unsere Vorstellung von den entsprechenden sinnlichen Empfindungseindrücken begleitet sein muß, welche der Erinnerung derselben nothwendig fehlen, und in der Beziehung finden wir in unserem Bewußtsein fast immer eine feste Entscheidung sogar für jeden einzelnen Theil des Bildes, wenn es uns nur gelingt, die Aufmerksamkeit auf ihn zu richten.

Unsere Aufgabe, die Entstehung der Gesichtswahrnehmungen zu begreifen, beschränkt sich also zunächst darauf, zu begreifen, wie die Übereinstimmung zwischen unseren Wahrnehmungen und der richtigen Voraussicht ihrer durch Willensimpulse herzustellenden Veränderungen zu gewinnen sei.

Was wir unzweideutig und als Thatsache ohne hypothetische Unterschiebung finden können, ist das Gesetzliche in der Erscheinung. Von dem ersten Schritt an, wo wir vor uns weilende Objecte im Raume vertheilt wahrnehmen, ist diese Wahrnehmung das Anerkennen einer gesetzlichen Verbindung zwischen unseren Bewegungen und den dabei auftretenden Empfindungen. Schon diese ersten elementaren Vorstellungen enthalten in sich ein Denken und gehen nach den Gesetzen des Denkens vor sich. Alles, was in der Anschauung zu dem rohen Materiale der Empfindungen hinzukommt, kann in Denken aufgelöst werden.

Wenn nun „begreifen“ heißt: Begriffe bilden, und wir im Begriff einer Klasse von Objecten zusammensuchen und zusammenfassen, was sie von gleichen Merkmalen an sich tragen: so ergiebt sich ganz analog, daß der Begriff einer in der Zeit wechselnden Reihe von Erscheinungen das zusammenzufassen suchen muß, was in allen ihren Stadien gleich bleibt. Wir nennen, was ohne Abhängigkeit von Anderem gleich bleibt in allem Wechsel der Zeit: die Substanz; wir nennen das gleichbleibende Verhältniß zwischen veränderlichen Größen: das sie verbindende Gesetz. Was wir direct wahrnehmen, ist nur das Letztere. Der Begriff der Substanz kann nur durch erschöpfende Prüfung gewonnen werden und bleibt immer problematisch, insofern weitere Prüfung vorbehalten wird. Früher galten Licht und Wärme

als Substanzen, bis sich später herausstellte, daß sie vergängliche Bewegungsformen seien, und wir müssen immer noch auf neue Zerlegungen der jetzt bekannten chemischen Elemente gefaßt sein. Das erste Product des denkenden Begreifens der Erscheinung ist das Gesetzliche. Haben wir es so weit rein ausgeschieden, seine Bedingungen so vollständig und sicher abgegrenzt und zugleich so allgemein gefaßt, daß für alle möglicher Weise eintretenden Fälle der Erfolg eindeutig bestimmt ist, und wir gleichzeitig die Überzeugung gewinnen, es habe sich bewährt und werde sich bewähren in aller Zeit und in allen Fällen: dann erkennen wir es als ein unabhängig von unserem Vorstellen Bestehendes an und nennen es die Ursache, d. h. das hinter dem Wechsel ursprünglich Bleibende und Bestehende; nur in diesem Sinne ist meiner Meinung nach die Anwendung des Worts gerechtfertigt, wenn auch der gemeine Sprachgebrauch es in sehr verwaschener Weise überhaupt für Antecedens oder Veranlassung anwendet. Insofern wir dann das Gesetz als ein unsere Wahrnehmung und den Ablauf der Naturprocesse Zwingendes, als eine unserem Willen gleichwerthige Macht anerkennen, nennen wir es „Kraft“. Dieser Begriff der uns entgegentretenden Macht ist unmittelbar durch die Art und Weise bedingt, wie unsere einfachsten Wahrnehmungen zu Stande kommen. Von Anfang an scheiden sich die Änderungen, die wir selbst durch unsere Willensacte machen, von solchen, die durch unseren Willen nicht gemacht, durch unseren Willen nicht zu beseitigen sind. Er ist namentlich der Schmerz, der uns von der Macht der Wirklichkeit die eindringlichste Lehre giebt. Der Nachdruck fällt hierbei auf die Beobachtungsthatsache, daß der Kreis der uns zur Zeit wahrnehmbaren Gegenstände nicht durch einen bewußten Act unseres Vorstellens oder Willens gesetzt ist. FICHTE'S „Nicht-Ich“ ist hier der genau zutreffende negative Ausdruck. Auch dem Träumer erscheint, was er zu sehen und zu fühlen glaubt, nicht durch seinen Willen oder durch die bewußte Verkettung seiner Vorstellungen hervorgerufen zu sein, wenn auch unbewußt das letztere in Wirklichkeit oft genug der Fall sein möchte; auch ihm ist es ein Nicht-Ich. Ebenso dem Idealisten, der es als die Vorstellungswelt des Weltgeistes ansieht.

Wir haben in unserer Sprache eine sehr glückliche Bezeichnung für dieses, was hinter dem Wechsel der Erscheinungen stehend auf uns einwirkt, nämlich „das Wirkliche“. Hierin ist nur das Wirken ausgesagt; es fehlt die Nebenbeziehung auf das Bestehen als Substanz, welche der Begriff des Reellen, d. h. des Sachlichen einschließt. In den Begriff des Objectiven andererseits schiebt sich meist der Begriff des fertigen Bildes eines Gegenstandes ein, welcher nicht auf die ursprünglichsten Wahrnehmungen paßt. Auch bei dem folgerichtig Träumenden müßten wir diejenigen seelischen Zustände oder Motive, welche ihm die dem gegenwärtigen Stande seiner erträumten Welt gesetzmäßig entsprechenden Empfindungen zur Zeit unterschieben, als wirksam und wirklich bezeichnen. Andererseits ist klar, daß eine Scheidung von Gedachtem und Wirklichem erst möglich wird, wenn wir

die Scheidung dessen, was das Ich ändern und nicht ändern kann, zu vollführen wissen. Diese wird aber erst möglich, wenn wir erkennen, welche gesetzmäßigen Folgen die Willensimpulse zur Zeit haben. Das Gesetzmäßige ist daher die wesentliche Voraussetzung für den Charakter des Wirklichen.

Dafs es eine *Contradictio in adjecto* sei, das Reelle oder KANTS „Ding an sich“ in positiven Bestimmungen vorstellen zu wollen, ohne es doch in die Form unseres Vorstellens aufzunehmen, brauche ich wohl nicht auseinanderzusetzen. Das ist oft besprochen. Was wir aber erreichen können, ist die Kenntnifs der gesetzlichen Ordnung im Reiche des Wirklichen, diese freilich nur dargestellt in dem Zeichensystem unserer Sinneseindrücke.

Dafs unser Denken und Wahrnehmen in Bezug auf Erkenntnifs des Wirklichen mehr als dieses Ziel erreiche, mufs ich verneinen. Aber, wie ich schon bemerkt habe, schliesse ich auch die Vorgänge, von denen uns unsere innere Anschauung berichtet, unter den Begriff der wirklichen Vorgänge ein.

Die besondere Art der ursächlichen Verbindung freilich, die wir zur Erklärung der einzelnen aufgefundenen Fälle von Gesetzmäßigkeit in der Zeitfolge der Wahrnehmungen anzunehmen haben, wird immer nur in hypothetischer Weise gefunden werden können.

Jede richtig gebildete Hypothese stellt ihrem thatsächlichen Sinne nach ein allgemeineres Gesetz der Erscheinungen hin, als wir bisher unmittelbar beobachtet haben; sie ist ein Versuch, zu immer allgemeinerer und umfassenderer Gesetzmäßigkeit aufzuteigen. Was sie an Thatsachen Neues behauptet, mufs durch Beobachtung und Versuch geprüft und bestätigt werden. Hypothesen, die einen solchen thatsächlichen Sinn nicht haben, oder überhaupt nicht sichere und eindeutige Bestimmungen für die unter sie fallenden Thatsachen geben, sind nur als werthlose Phrasen zu betrachten.

Jede Zurückführung der Erscheinungen auf die zu Grunde liegenden Substanzen und Kräfte behauptet etwas Unveränderliches und Abschließendes gefunden zu haben. Zu einer unbedingten Behauptung dieser Art sind wir nie berechtigt; das erlaubt weder die Lückenhaftigkeit unseres Wissens, noch die Natur der Inductionsschlüsse, auf denen all unsere Wahrnehmung des Wirklichen vom ersten Schritte an beruht.

Jeder Inductionsschluss stützt sich auf das Vertrauen, dafs ein bisher beobachtetes gesetzliches Verhalten sich auch in allen noch nicht zur Beobachtung gekommenen Fällen bewähren werde. Es ist dies ein Vertrauen auf die Gesetzmäßigkeit alles Geschehens. Die Gesetzmäßigkeit aber ist die Bedingung der Begreifbarkeit. Vertrauen in die Gesetzmäßigkeit ist also zugleich Vertrauen auf die Begreifbarkeit der Naturerscheinungen. Setzen wir aber voraus, dafs das Begreifen zu vollenden sein wird, dafs wir ein letztes Unveränderliches als Ursache der beobachteten Veränderungen hinstellen können, so nennen wir das regulative Princip unseres Denkens, was uns dazu treibt, das Causalgesetz. Wir können sagen, es

spricht das Vertrauen auf die vollkommene Begreifbarkeit der Welt aus. Das Begreifen, in dem Sinne, wie ich es beschrieben habe, ist die Methode, mittels deren unser Denken die Welt sich unterwirft, die That-sachen ordnet, die Zukunft voraus bestimmt. Es ist sein Recht und seine Pflicht, die Anwendung dieser Methode auf alles Vorkommende auszudehnen, und wirklich hat es auf diesem Wege schon große Ergebnisse geerntet. Für die Anwendbarkeit des Causalgesetzes haben wir aber keine weitere Bürgschaft, als seinen Erfolg. Wir könnten in einer Welt leben, in der jedes Atom von jedem anderen verschieden wäre, und wo es nichts Ruhendes gäbe. Da würde keinerlei Regelmäßigkeit zu finden sein, und unsere Denktätigkeit müßte ruhen.

Das Causalgesetz ist wirklich ein a priori gegebenes, ein transcendentales Gesetz. Ein Beweis desselben aus der Erfahrung ist nicht möglich; denn die ersten Schritte der Erfahrung sind nicht möglich, wie wir gesehen haben, ohne die Anwendung von Inductionsschlüssen, d. h. ohne das Causalgesetz; und aus der vollendeten Erfahrung, wenn sie auch lehrte, daß alles bisher Beobachtete gesetzmäßig verlaufen ist, — was zu versichern wir doch lange noch nicht berechtigt sind, — würde immer nur erst durch einen Inductionsschluss, d. h. unter Voraussetzung des Causalgesetzes, folgen können, daß nun auch in Zukunft das Causalgesetz giltig sein werde. Hier gilt nur der eine Rath: Vertraue und handle!

Das Unzulängliche
Dann wird's Ereigniß.

Ja ich kann nicht umhin, selbst den extremsten subjectiven Idealismus als eine mögliche und in sich consequente Form einer solchen Hypothese anzuerkennen, zu deren Widerlegung ich keinen entscheidenden Grund sehe, so unwahrscheinlich sie auch sein mag. Ich habe oben bemerkt, wie wichtig es erscheint, daß wir nach Aussage unseres Bewußtseins wenigstens ein Glied von der Kette der Ursachen, die zur Wahrnehmung führen, unseren Willensimpuls, aus innerer Anschauung kennen und wissen, durch welche Motive er zu Stande gekommen ist. Von ihm aus beginnt dann, als von einem uns bekannten Anfangsglied und zu einem bekannten Zeitpunkt, die Kette der physischen Ursachen zu wirken, die in den Erfolg des Versuches ausläuft. Aber eine wesentliche Voraussetzung für die zu gewinnende Überzeugung ist die, daß unser Willensimpuls weder selbst schon durch physische Ursachen, die gleichzeitig auch den physischen Proceß bestimmten, mit beeinflusst worden sei, noch seinerseits die darauf folgenden Wahrnehmungen beeinflusst habe.

Der letzte Zweifel kann namentlich bei unserem Thema in Betracht kommen. Der Willensimpuls für eine bestimmte Bewegung ist ein psychischer Act, die darauf wahrgenommene Änderung der Empfindung gleichfalls. Kann nun nicht der erste Act den zweiten durch rein psychische Vermittelungen zu Stande bringen? Unmöglich ist es nicht. Wenn wir träumen, geschieht so etwas. Wir glauben träumend eine Bewegung zu vollführen, und wir träumen dann weiter, daß dasjenige geschieht, was davon die natürliche Folge sein sollte. Wir träumen, in einen Kahn zu steigen, ihn vom Land abzustößen, auf das Wasser hinaus zu gleiten, die umringenden Gegenstände sich verschieben zu sehen u. s. w. Hierbei scheint die Erwartung des Träumenden, daß er die Folgen seiner Handlungen eintreten sehen

werde, die geträumte Wahrnehmung auf rein psychischem Wege herbeizuführen. Wer weiß zu sagen, wie lang und fein ausgesponnen, wie folgerichtig durchgeführt ein solcher Traum werden könnte. Wenn alles darin im höchsten Grade gesetzmäßig der Naturordnung folgend geschähe, so würde kein anderer Unterschied vom Wachen bestehen, als die Möglichkeit des Erwachens, das Abreißen dieser geträumten Reihe von Anschauungen.

Ich sehe nicht, wie man ein System selbst des extremsten subjectiven Idealismus widerlegen könnte, welches das Leben als Traum betrachten wollte. Man könnte es für so unwahrscheinlich, so unbefriedigend wie möglich erklären — ich würde in dieser Beziehung den härtesten Ausdrücken der Verwerfung zustimmen — aber consequent durchführbar wäre es; und es scheint mir sehr wichtig, dies im Auge zu behalten.

Auch FICHTE nimmt an, daß sich das Ich das Nicht-Ich, d. h. die erscheinende Welt, selbst setzt, weil es ihrer zur Entwicklung seiner Denkhätigkeit bedarf. Sein Idealismus unterscheidet sich aber doch von dem eben bezeichneten dadurch, daß er die anderen menschlichen Individuen nicht als Traumbilder, sondern auf die Aussage des Sittengesetzes hin als dem eigenen Ich gleiche Wesen faßt. Da aber ihre Bilder, in denen sie das Nicht-Ich vorstellen, wieder alle zusammen stimmen müssen, so faßt er die individuellen Ichs alle als Theile oder Ausflüsse des absoluten Ich. Dann war die Welt, in der jene sich fanden, die Vorstellungswelt, welche der Weltgeist sich setzte, und konnte wieder den Begriff der Realität annehmen, wie es bei HEGEL geschah.

Die realistische Hypothese dagegen traut der Aussage der gewöhnlichen Selbstbeobachtung, wonach die einer Handlung folgenden Veränderungen der Wahrnehmung gar keinen psychischen Zusammenhang mit dem vorausgegangenen Willensimpuls haben. Sie sieht als unabhängig von unserem Vorstellen bestehend an, was sich in täglicher Wahrnehmung so zu bewähren scheint, die materielle Welt aufser uns. Unzweifelhaft ist die realistische Hypothese die einfachste, die wir bilden können, geprüft und bestätigt in außerordentlich weiten Kreisen der Anwendung, scharf defint in allen Einzelbestimmungen und deshalb außerordentlich brauchbar und fruchtbar als Grundlage für das Handeln. Das Gesetzliche in unseren Empfindungen würden wir sogar in idealistischer Anschauungsweise kaum anders auszusprechen wissen, als indem wir sagen: „Die mit dem Charakter der Wahrnehmung auftretenden Bewußtseinsacte verlaufen so, als ob die von der realistischen Hypothese angenommene Welt der stofflichen Dinge wirklich bestände“. Aber über dieses „als ob“ kommen wir nicht hinweg; für mehr als eine ausgezeichnet brauchbare und zuverlässige Hypothese können wir die realistische Meinung nicht anerkennen; nothwendige Wahrheit dürfen wir ihr nicht zuschreiben, da neben ihr noch andere unwiderlegbare idealistische Hypothesen möglich sind.

Es ist gut, dies immer vor Augen zu halten, um nicht mehr aus den That-sachen folgern zu wollen, als in der That daraus zu folgern ist. Die verschiedenen Abstufungen der idealistischen und realistischen Meinungen sind metaphysische Hypothesen, welche, so lange sie als solche anerkannt werden, ihre vollkommene wissenschaftliche Berechtigung haben, so schädlich sie auch werden mögen, so bald man sie als Dogmen oder als angebliche Denknöthwendigkeiten hinstellen will. Die Wissenschaft muß alle zulässigen Hypothesen erörtern, um eine vollständige Übersicht über die möglichen Erklärungsversuche zu behalten. Noch nothwendiger sind die Hypothesen für das Handeln, weil man nicht immer zuwarten kann, bis eine gesicherte

wissenschaftliche Entscheidung erreicht ist, sondern sich, sei es nach der Wahrscheinlichkeit, sei es nach dem ästhetischen oder moralischen Gefühl, entscheiden muß. In diesem Sinne wäre auch gegen die metaphysischen Hypothesen nichts einzuwenden. Unwürdig eines wissenschaftlich sein wollenden Denkers aber ist es, wenn er den hypothetischen Ursprung seiner Sätze vergißt. Der Hochmuth und die Leidenschaftlichkeit, mit der solche versteckte Hypothesen vertheidigt werden, sind die gewöhnlichen Folgen des unbefriedigenden Gefühls, welches ihr Vertheidiger in den verborgenen Tiefen seines Gewissens über die Berechtigung seiner Sache hegt.

Continuität der Empfindungsqualitäten. Nur in einer Beziehung hat sich durch die Erfahrung doch eine gewisse Art der Übereinstimmung zwischen den Abstufungen der Qualitäten der Empfindung und denen der Eigenschaften ihrer Objecte herausgestellt. Wenn sich nämlich die eine continuirlich ändert, thut es in allen bekannten Fällen die andere auch. Daher bieten allgemein die Empfindungen, die durch Reizmittel von verschwindend kleinen Intensitäts- oder Qualitätsunterschieden hervorgerufen werden, verschwindend kleine Unterschiede dar, die bis zur Unwahrnehmbarkeit herabgehen können. Dasselbe gilt für Auge und Haut auch betreffs der örtlichen Unterschiede der gereizten Stelle. Dieses Gesetz ist für die Farbenempfindungen des Lichtes von verschiedener Wellenlänge zuerst von GRASSMANN¹ ausgesprochen worden, und bisher durch die Untersuchung der kleinsten wahrnehmbaren Unterschiede in qualitativer, wie in localer Hinsicht bestätigt worden. In den Untersuchungen über die Wahrnehmungen der kleinsten Helligkeitsunterschiede, der kleinsten Farbenunterschiede, sowie in denen über die Erkennbarkeit kleinster Distanzen im Sehfelde in den §§ 18 und 21 finden sich die entsprechenden Thatsachen dargelegt, soweit sie der Lehre vom Sehen angehören.

Hypothesen über den Ursprung der richtigen Deutung unserer Sinneseindrücke. Die älteren Philosophen und Psychologen waren durchaus geneigt, alles, was in unseren sinnlichen Wahrnehmungsbildern ohne Nachdenken, ohne Besinnen augenblicklich und bei allen Individuen in gleicher Weise zu Stande kommt, unter den Begriff der Perception einzureihen und es als ein unmittelbares Product der organischen Einrichtungen des Nervensystems aufzufassen, dagegen die mögliche Mitwirkung auch sogenannter niedrigerer psychischer Processe, wie z. B. des Gedächtnisses und des Erinnerungsvermögens, dabei gänzlich zu vernachlässigen.

Dafs aber in der That die Vorstellung von der normalen Bedeutung oft wiederholter Perceptionen mit unabänderlicher Sicherheit blitzschnell und ohne das geringste Besinnen zu Stande kommen kann, dafür bietet das Verständniß der Muttersprache ein lehrreiches Beispiel. Angeboren ist uns diese Kenntniß nicht; wir haben auch unsere Muttersprache zweifellos gelernt, und zwar durch den Gebrauch, also durch häufig wiederholte Erfahrung. Kinder unserer Nation, die jenseits der Grenze unseres Vaterlandes geboren worden und unter fremdsprachigen Menschen aufgewachsen wären, würden eine andere Sprache erlernt haben und darin ebenso sicher geworden sein, wie wir in der unserigen. Dabei ist eine ausgebildete Sprache einer civilisirten Nation ein so reich entwickeltes Ausdrucksmittel der vielfältigsten und feinsten Schattirungen des Gedankens, dafs sie in dieser Beziehung sehr wohl mit dem Reichthum der körperlichen Formen der uns umgebenden Naturgebilde verglichen werden kann.

Das Beispiel der Sprache ist auch in anderer Beziehung lehrreich, weil es uns Aufschluß giebt über die Frage, wie solch sicheres und übereinstimmendes

¹ Siehe § 20, S. 335.

Verständniß eines Systems von Zeichen zu gewinnen ist, welches dem individuellen Beobachter gegenüber nur wie ein ganz willkürlich gewähltes wirken kann, wenn auch der vergleichende Philolog Spuren des Zusammenhanges einzelner Wurzeln darin zu erkennen weifs. Die Muttersprache wird nur an dem Gebrauch der Worte gelernt. Das Kind hört immer wieder den normalen Namen eines Gegenstandes aussprechen, wenn ihm dieser gezeigt oder gereicht wird, und hört immer wieder die gleiche Veränderung der ihm sichtbaren Außenwelt mit dem gleichen Wort bezeichnen. Dadurch heftet sich in seinem Gedächtniß das Wort an die Sache, desto öfter und desto fester, je häufiger beide sich wiederholen. Die Wiederholung braucht aber nicht genau in allen Einzelheiten gleich zu sein, sondern der gleiche Namen kann sich auch an eine Klasse unter einander ähnlicher Gegenstände heften oder an eine Klasse ähnlicher Vorgänge. Dadurch entwickeln sich dann Namen für den Begriff einer Klasse von Anschauungsbildern, wobei der Umfang, in welchem der Name für verschiedene Modificationen derselben gebraucht zu werden pflegt, sich ebenfalls nur durch den Gebrauch der Sprache feststellt und nur ausnahmsweise durch eine begriffliche Definition unterstützt wird.

Bei diesem Vorgange, den wir aus alltäglicher Erfahrung kennen und der sich ähnlich für das Verständniß des Wortschatzes jeder fremden Sprache, die wir später erlernen, wiederholt, ist zunächst bekannt, daß die Bedeutung jedes Wortes sich desto fester einprägt, je öfter wiederholt wir es anwenden oder anwenden hören; ferner, daß wir anfangs zwar noch die einzelnen Fälle, wo wir es haben anwenden hören, im Gedächtniß behalten. Später dagegen, wenn die Zahl dieser Fälle zu groß geworden ist, als daß wir sie alle einzeln mit den Nebenumständen und in der Zeitfolge, mit und in denen sie eingetreten sind, aus unserer Erinnerung uns aufzählen könnten, bleibt uns nur das Gesamtergebniß unserer bisherigen Erfahrungen stehen, daß das bestimmte Wort diese bestimmte Reihe einander ähnlicher Gegenstände oder einander ähnlicher Vorgänge zu bedeuten pflegt; aber wir wissen nicht mehr anzugeben, bei welchen einzelnen Gelegenheiten wir zu dieser Kenntniß gekommen sind, auch nicht, warum wir es für die eine Modification des Begriffes gebrauchen, bei einer anderen aber Anstand nehmen, dies zu thun.

Ich schliesse aus diesen Beobachtungen, daß wir durch häufige Wiederholung gleichartiger Erfahrungen dazu gelangen können, eine regelmäfsig immer wieder eintretende Verbindung zwischen zwei verschiedenen Perceptionen, beziehlich Vorstellungen, z. B. zwischen dem Klang eines Wortes und sichtbaren oder fühlbaren Anschauungsbildern, herzustellen und immer fester zu machen, die ursprünglich gar keinen natürlichen Zusammenhang zu haben brauchen, und daß, wenn dies geschehen ist, wir gar nicht mehr im Einzelnen anzugeben wissen, wie wir zu dieser Kenntniß gekommen sind, und auf welche einzelne Beobachtungen sie sich stützt.

Schließlich finden wir, daß wir nicht nur für unsere Muttersprache, sondern auch für gut erlernte fremde Sprachen einen Grad des Verständnisses erreichen können, bei dem wir ohne Nachsinnen und Überlegung im Augenblick den Sinn dessen verstehen, was der mit uns Sprechende uns mittheilen will, und daß wir im Stande sind, den feinsten und mannigfaltigsten Modificationen seines Gedankens und seiner Empfindung dabei zu folgen. Wenn wir aber sagen sollen, wie wir zu dieser Kenntniß gekommen sind, so können wir dies nur in der Form des allgemeinen Satzes aussprechen, daß wir immer gefunden haben, daß diese Worte in diesem Sinne gebraucht wurden.

Wir kennen es aber als eine allgemeine Regel der Wirkungsweise unseres

Gedächtnisses, daß sehr oft in gleicher Weise wiederholte und immer in derselben Art der Verbindung zusammengeschlossene Eindrücke unter übrigens gleichen Bedingungen eine viel dauerndere Spur ihrer selbst und ihrer Verbindung in uns hinterlassen und viel sicherer und schneller in dieser Verbindung wieder in das Bewußtsein treten, als solche, welche uns nur in zufälligen und wechselnden Verbindungen vorgekommen sind.

Dieselbe Regel bestätigt sich auch in einer außerordentlich großen Zahl anderer Fälle. Am ausnahmslosesten wird eine Verbindung zweier Beobachtungsthatfachen sich immer wiederholen, wenn dieselbe durch ein Naturgesetz gefordert wird, welches entweder die Gleichzeitigkeit oder die regelmäßige Aufeinanderfolge derselben in bestimmter Frist verlangt. Durch einen gesetzlosen Zufall dagegen herbeigeführte Fälle von Gleichzeitigkeit oder Aufeinanderfolge werden sich zwar auch gelegentlich wiederholen können, aber nicht ausnahmslos; dazwischen werden sich Fälle mit anderem, und selbst solche mit entgegengesetztem Erfolge einmischen, welche dann dem ausschließlichen Übergewicht der einen Verbindung entgegenwirken und verhindern, daß die wechselnden Zufälligkeiten derselben oder überhaupt, was in der wechselnden Erscheinungsweise des Vorganges nicht Ausdruck einer bestimmten Gesetzmäßigkeit ist, sich ebenso sicher und unabänderlich festsetzen könne, wie das Gesetzmäßige.

Wenn wir eine Sprache lernen, so ist das, was uns darin als gesetzmäßig entgegentritt, nur eine von Menschen gewählte und eingehaltene Regel, der wir nicht einmal die Festigkeit und Unabänderlichkeit eines Naturgesetzes zuerkennen können. Dazu kommt, daß die Zeichen für sehr ähnliche Objecte durchaus nicht nothwendig selbst einander ähnlich zu sein brauchen. Im Gegentheil zeigen sie meist ganz unregelmäßige, sprungweise auftretende Verschiedenheiten. Wir dürfen uns also nicht wundern, wenn wir unter der Einwirkung außerordentlich viel zahlreicherer und unter sich ausnahmslos übereinstimmender Beobachtungen über das Verhalten der Naturkörper gegen einander und gegen unsere Sinnes- und Bewegungsorgane zu einer viel vollständigeren Kenntniß des normalen Verhaltens dieser Körper und ihrer Erscheinungsweise in verschiedenen Lagen und bei verschiedenen Bewegungen kommen, als sie durch die Sprache wiedergegeben werden kann. Für eine genaue Beschreibung der mannigfaltigen Sinneseindrücke, welche ein einziger Naturkörper, namentlich bei etwas unregelmäßiger oder verwickelter Gestalt, dem Auge und der Hand darbietet, ist die Sprache viel zu arm; und eine Beschreibung eines solchen Eindruckes in Worten würde eine ungeheuer weitläufige und zeitraubende Arbeit sein, die wir offenbar nicht auszuführen pflegen, wenn wir das Anschauungsbild eines solchen Objectes uns einprägen wollen. In diesen Fällen oder auch in solchen, wo gar keine Wortbeschreibung möglich ist, genügt uns der sinnliche Eindruck ohne Wortfassung, und wir wissen mit dessen Hülfe sogar die feinsten Eindrücke, wie die von menschlichen Gesichtszügen, wieder zu erkennen, gelegentlich nach sehr kurzer Betrachtung und nach langer Zwischenzeit.

In solchen Fällen wird kein Zweifel darüber sein können, daß wir den sinnlichen Eindruck, den uns das Object gemacht hat, mit hinreichend viel Einzelheiten im Gedächtniß behalten, um noch längere Zeit später eine bestimmte individuelle Physiognomie von der aller anderen Menschen sicher zu unterscheiden.

Wenn wir ein solches, nur durch sinnliche Eindrücke gegebenes Anschauungsbild eines bestimmten Objectes in uns tragen, pflegen wir dies als Kenntniß des Objectes im Gegensatz zu dem in Worte zu fassenden Wissen zu bezeichnen. Eine solche Kenntniß braucht sich nicht auf einzelne perspectivische Bilder des Objectes

zu beschränken, sondern kann auch die Gesammtheit der perspectivischen Bilder umfassen und vereinigen, welche nach einander durch Betrachtung von verschiedenen Gesichtspunkten aus gewonnen werden können. In der That finden wir, daß wir von wohlbekanntem Gegenständen eine Vorstellung ihrer körperlichen Form in uns tragen, welche die Gesammtheit aller der einzelnen perspectivischen Bilder, die wir von verschiedenen Gesichtspunkten aus dahin blickend gewinnen können, vertritt. Denn mit der Kenntniß der körperlichen Form des Objectes ausgerüstet können wir uns die sämmtlichen perspectivischen Bilder, die wir bei der Ansicht von dieser oder jener Seite zu erwarten haben, deutlich vorstellen, und in der That nehmen wir sogleich Anstoß, wo ein solches Bild unserer Erwartung nicht entspricht, wie es z. B. geschehen kann, wenn durch die Änderung der Lage des Gegenstandes eine Änderung seiner Körperform eintritt. Man denke nur daran, wie außerordentlich empfindlich ein aufmerksamer Beobachter gegen Zeichenfehler in Darstellungen von Menschen oder Pferden sich erweisen kann, oder gegen kleine Fehler perspectivischer Constructionen, welche regelmäßige architektonische Gebilde darstellen sollen. Ja, es kommen häufig genug Fälle vor, wo man eher einen kleinen Fehler in einer perspectivischen Zeichnung bemerkt, als einen gleich großen in dem Umrisse eines der Rechtecke, welche Theile der Zeichnung bilden, wenn eines derselben isolirt nachconstruirt wird.

In der That ist die körperliche Form eines festen Objectes eine Größe, die viel mannigfaltigere constante Beziehungen zwischen ihren verschiedenen Theilen und Dimensionen darbietet, als jedes einzelne perspectivische Bild derselben, und aus der ersteren ist daher bei bekannter Lagenänderung die Änderung jeder perspectivischen Ansicht sicher herzuleiten, weil dies unter dem Eindruck eines ganz festen, wenn auch räumlichen Vorstellungsbildes geschehen kann, welches das constant bleibende Ergebniss aller einzelnen Flächenansichten zusammenfaßt, während eine einzige perspectivische Ansicht nicht die nöthigen Daten liefert, um eine ganz sichere und unzweideutige Vorstellung von der Form des Ganzen und seiner wechselnden Ansichten von anderen Seiten her zu gewinnen. Die auf die festere und einfachere Gesetzmäßigkeit gestützte Vorstellung erweist sich hier also auch als die, welche die sicherere Anschauung giebt.

Wir werden später bei der Beschreibung der stereoskopischen Bilder noch eigenthümliche Erscheinungen zu erwähnen haben, welche dieses Verhältniß sehr augenfällig machen. Wenn man nämlich ein Paar stereoskopische Bilder mit etwas verwickelter Führung der Grenzlinien, z. B. eines regelmäßigen Polyeders oder Krystallmodells, vor Augen hat, mißlingen die Versuche, das körperliche Bild aus den beiden Darstellungen zur Vereinigung zu bringen, oft im Anfang dadurch, daß die Blickpunkte der beiden Augen leicht auf nicht einander entsprechenden Linien fortgleiten und sich wieder trennen, bis man die richtige körperliche Vorstellung von dem dargestellten Object gewonnen hat. So wie diese gefunden ist, wandern die beiden Blicklinien mit der größten Sicherheit und Schnelligkeit über alle Theile der Figuren hin. Hier bewährt sich also in der That die Gesammtaufassung der Körperform gleich als die Regel für die Vorstellung, nach welcher man die beiden Blicklinien zu führen hat, um fortdauernd auf correspondirenden Punkten beider Zeichnungen zu bleiben.

In welcher Weise solche Kenntnisse der Bedeutung der Gesichtsbilder von jungen menschlichen Kindern zuerst gesammelt werden, ergiebt sich leicht, wenn wir dieselben beobachten, während sie mit den ihnen als Spielzeug dargebotenen Objecten sich beschäftigen, wie sie dieselben betasten, stundenlang von allen Seiten

betrachten, herumwenden, sie in den Mund stecken u. s. w., endlich sie herunterwerfen oder zu zerschlagen suchen und dies jeden Tag wiederholen. Man wird nicht daran zweifeln können, daß dies die Schule ist, in der sie das natürliche Verhalten der sie umgebenden Gegenstände kennen lernen, dabei auch die perspectivischen Bilder verstehen, ihre Hände gebrauchen lernen. Ebenso lehrt die Beobachtung jüngerer Kinder, daß sie in den ersten Wochen ihres Lebens diese Kenntnisse noch nicht haben. Wenn ihnen irgend eine instinktmäßige Kenntniß angeboren wäre, so sollte man erwarten, daß es in erster Linie die Kenntniß des Bildes der Mutterbrust sein müßte und die Kenntniß derjenigen Bewegungen, durch welche sie sich diesem Gesichtsbilde zuwenden könnten. Aber eine solche Kenntniß fehlt ganz offenbar. Man sieht, daß das Kind lebhaft wird, wenn es in die Stellung für das Säugen gebracht wird, und unruhig suchend den Kopf hin und her wendet, um die Brust zu finden, aber es wendet sich in den ersten Tagen ebenso oft von der Brust ab, wie ihr zu, obgleich es diese frei erblicken kann. Offenbar weiß es in diesem frühen Alter weder das Gesichtsbild, noch die Richtung seiner Bewegungen zu deuten.

Ebenso oft sieht man, daß ein Kind von ein oder zwei Wochen, dem man eine Kerzenflamme vorhält, unruhig wird und die Augen hin und her wendet, offenbar mit der Absicht, die helle Flamme anzustarren. Sobald es die richtige Stellung der Augen gefunden hat, folgt es langsameren Bewegungen der Flamme mit dem Blicke. Aber das Kind weiß im Anfange nicht, sicher mit dem Blick eine etwas seitlich im Gesichtsfelde befindliche Flamme zu erreichen. Nach zwei oder drei Wochen aber gelingt ihm dies verhältnißmäßig schnell; erst viel später gelingt das Greifen mit der Hand nach einem gesehenen Gegenstande.

Ich folgere daraus, daß die Deutung auch einiger der einfachsten und für das menschliche Kind wichtigsten Gesichtsbilder von ihm erlernt werden muß und nicht durch angeborene Organisation von vornherein ohne vorausgehende Erfahrung gegeben ist. Wie weit ein ähnlicher Schluß auf neugeborene Thiere ausgedehnt werden darf, brauchen wir hier nicht zu entscheiden. Die Seelenthätigkeiten der Thiere sind vielleicht durch ihre Instincte auf engere Wege beschränkt, die das Thier auf engerem Gebiete sicherer sich bewegen lassen, als es dem freier wählenden Menschen für seine spätere Entwicklung dienlich wäre.

Ich würde diese bisher angeführten Verhältnisse nicht so ausführlich, wie ich gethan, besprochen haben, wenn mir nicht hierbei ein hartnäckiges und sehr verbreitetes Vorurtheil entgegengetreten wäre, welches, wie mir scheint, seinen Ursprung von einer abweichenden Auffassung der Begriffe: Anschauen und Denken herleitet.

Wie ich schon oben hervorgehoben habe, wird der Terminus „Denken“ vorzugsweise auf diejenigen Vorstellungsverbindungen angewendet, bei denen der Vorstellende in bewußter Weise die einzelnen Sätze, aus denen der Schluß gezogen werden kann, sich vergegenwärtigt, auf ihre Zuverlässigkeit prüft und dann zum Schluß verbindet. Dagegen pflegt man als Anschauung eine solche Entstehung von Vorstellungen zu bezeichnen, bei denen in bewußter Weise nur der sinnliche Eindruck percipirt wird und danach die Vorstellung von der Gegenwart des Objects in das Bewußtsein springt, ohne daß weitere Zwischenglieder des Vorstellungskreises zum Bewußtsein kommen. In der That kommt es wesentlich auf diesen Unterschied in dem klaren Bewußtwerden der Zwischensätze an, wenn es sich darum handelt, die Logik im engeren Sinne aufzubauen, d. h. zu untersuchen, wie die Vordersätze beschaffen sein müssen, damit sie die Berechtigung zu einem bindenden Schlusse

ergeben. Bei dieser Aufgabe handelt es sich in der That darum, daß alle Vordersätze des Schlusses in vollständig klarer Weise in das Bewußtsein erhoben und kritisch geprüft werden, und solche Glieder der Vorstellungskette, die einer derartigen bewußten Prüfung nicht mehr zugänglich sind, kommen für die logische Prüfung nicht in Betracht, oder höchstens als axiomatische Vordersätze, die man auf Treu und Glauben aus dem Vorrath des Gedächtnisses annimmt.

Aber es wäre offenbar falsch, behaupten zu wollen, daß in unserem Bewußtsein keine Kenntnisse vorkämen außer denen, die aus sinnlichen Perceptionen auf dem Wege des logischen Denkens entstanden wären. Die oben erwähnten Beispiele des Erlernens von Sprachen, von Fertigkeiten, vom wachsenden Verständniß der Gesichtsbilder zeigen in der That, daß solche Kenntnisse ohne absichtliches Nachdenken gewonnen werden können, und daß dieselben jeden Grad der Sicherheit und Feinheit erreichen können, ohne daß die Möglichkeit übrig bleibt, nachträglich die Richtigkeit einer solchen Induction durch die Erinnerung an die einzelnen Fälle zu prüfen, wo und zu welchen Zeiten man entsprechende Beobachtungen gemacht habe, Beobachtungen, die außerdem zum großen Theil gar keine hinreichend specielle Beschreibung in Worten zulassen, sondern in voller Genauigkeit nur durch die Erinnerung an den früheren sinnlichen Eindruck wiedergegeben werden können.

Wir erkennen dadurch, daß auch Gedächtnißbilder reiner sinnlicher Eindrücke als Elemente von Gedankenverbindungen benutzt werden können, ohne daß es nothwendig oder auch nur möglich ist, dieselben in Worten zu beschreiben und sie dadurch begriffsmäßig zu fassen. Offenbar kommt ein großer Theil der empirischen Kenntniß des natürlichen Verhaltens der uns umgebenden Objecte in dieser Weise zu Stande. Für die Vorgänge einer solchen, dem inneren Wesen eines Schlusses entsprechenden Vereinigung sinnlicher Anschauungen scheint mir die vorher besprochene Verschmelzung der vielen perspektivischen Ansichten eines Objects in die Vorstellung seiner Körperform in drei Dimensionen ein besonders anschauliches Beispiel zu sein. In der That vertritt die lebhaftere Vorstellung der körperlichen Form alle die erwähnten perspektivischen Ansichten. Die letzteren lassen sich bei hinreichend lebendiger geometrischer Einbildungskraft aus ihr wieder herleiten. Ja selbst bisher noch nicht wahrgenommene Ansichten, wie sie bei der Anlegung von Querschnitten nach gewissen Richtungen gewonnen werden könnten, sind als Folgerungen jener Vorstellung daraus ableitbar. Und andererseits, wenn wir nach dem wahren Inhalt der Vorstellung eines nach drei Dimensionen ausgedehnten Körpers fragen, so ist doch keiner zu finden außer den Vorstellungen von der Reihe der von ihm zu gewinnenden Gesichtsbilder, mit eventueller Vorstellung solcher, die durch Zerschneiden entstehen könnten.

In diesem Sinne können wir behaupten, die Vorstellung der stereometrischen Form eines körperlichen Objects spielt ganz die Rolle eines aus einer großen Reihe sinnlicher Anschauungsbilder zusammengefaßten Begriffs, der aber selbst nicht nothwendig durch in Worten ausdrückbare Definitionen, wie sie der Geometer sich construiren könnte, sondern nur durch die lebendige Vorstellung des Gesetzes, nach dem seine perspektivischen Bilder einander folgen, zusammengehalten wird.

Daß eine solche mühelose Anschauung der normalen Folge von gesetzlich verknüpften Wahrnehmungen durch hinreichend reiche Erfahrung gewonnen werden kann, habe ich zu beweisen gesucht.

So sehen wir, daß dieser Proceß, der in seinen wesentlichen Theilen, soweit wir erkennen können, nur durch unwillkürliche und unbewußte Action unseres Gedächtnisses vollzogen wird, dennoch im Stande ist, Vorstellungsverbindungen in

uns hervorzubringen, deren Ergebnisse in allen wesentlichen Zügen mit denen des bewußten Denkens übereinstimmen. Wie oben schon erwähnt, stärken sich gegenseitig die häufig in gleichartiger Weise wiederholten und sich in gleicher Weise folgenden Eindrücke, die wir durch unsere Sinne empfangen haben. Daneben müssen die zufällig wechselnden zurücktreten und schließlic der Regel nach verlöschen, wenn ihr Eindruck nicht durch besondere Affecte, die sich mit ihnen verbunden hatten, hervorgehoben und vertieft worden ist.

Wie schon oben betont worden ist, werden mit der Zeit dadurch alle Theile der wahrgenommenen Erscheinungen verstärkt werden müssen, die der Einwirkung eines Naturgesetzes bei dem beobachteten Vorgange entsprechen. Die Vorstellung, daß die in ihren Anfängen beobachtete Erscheinung nun auch in derselben Weise weiter verlaufen wird, wie wir es bisher immer percipirt haben, wird um so sicherer eintreten, je häufiger und ausnahmsloser wir gleichen Verlauf derselben schon früher wahrgenommen haben.

Eine solche Erwartung entspricht dem Resultat eines Inductionsschlusses. Ein solcher kann täuschen, wenn er auf eine ungenügende Zahl von beobachteten Fällen gestützt ist. Daß auch Thiere dergleichen Inductionsschlüsse ziehen, und zwar viel öfter falsche, als es bei den Menschen vorkommt, erkennt man an ihrem Verhalten oft genug, z. B. wenn sie zurückschrecken vor irgend einem Gegenstande, der ähnlich aussieht, wie ein anderer, an dem sie sich bei einer früheren Gelegenheit verbrannt haben.

Ich habe in der früheren Auflage dieses Buches diese Art von Inductionsschlüssen, welche auf die Kenntniß des regelmässigen Verhaltens der uns umgebenden Naturobjecte gebaut sind, als unbewußte Schlüsse bezeichnet, und finde den Namen auch jetzt noch bis zu einer gewissen Grenze zulässig und bezeichnend, da diese Associationen von Wahrnehmungen im Gedächtniß in der That meistens so vor sich gehen, daß man zur Zeit, wo sie entstehen, nicht auf ihr Entstehen aufmerkt, höchstens in der Weise, daß man sich erinnert, denselben Vorgang schon öfter beobachtet zu haben, ihn also als einen schon bekannten anerkennt. Höchstens bei den ersten Wiederholungen seltenerer Beobachtungen dieser Art wird die Erinnerung an die früheren Fälle mit ihren Nebenumständen deutlicher hervortreten können, so daß der psychische Proceß hierbei eine grössere Analogie mit bewußtem Denken gewinnen würde.

Inductionsschlüsse sind niemals so zuverlässig, wie wohl geprüfte Schlüsse des bewußten Denkens. Bewußtes wissenschaftliches Denken unterscheidet sich von der durch gehäufte Erfahrung gesammelten Kenntniß gewisser Gegenstände oder Vorgänge dadurch, daß bei jenem zunächst eine möglichst vollständige Übersicht aller bei dem Urtheil in Betracht kommenden Fälle herbeizuschaffen versucht wird, sei es durch Sammlung schriftlicher Nachrichten oder durch Sammlung neuer Beobachtungen, eventuell absichtlich herbeigeführter Beobachtungen, d. h. Versuche. Bei letzteren ist es rathsam, vorzugsweise solche Fälle aufzusuchen, die sich in den Vorbedingungen von allen bisher beobachteten anderen unterscheiden. Die dadurch erreichbare Vollständigkeit in der Kenntniß der mannigfaltigen Beispiele und der Bedingungen, unter denen sie so oder anders verlaufen, wird in der Regel durch die ungeordnete Zufälligkeit der alltäglichen Erfahrungen nicht erreicht werden, oder höchstens bei solchen Fällen, die sich in ungeheurer Zahl von Wiederholungen und mit verhältnißmässig wenigen Abänderungen und Verwickelungen darbieten.

Falsche Inductionen bei der Deutung unserer Perceptionen pflegen wir als Sinnestäuschungen zu bezeichnen. Sie sind meist verursacht durch

Unvollständigkeit der Induction, deren häufigste Veranlassung darin zu suchen ist, daß wir gewohnheitsmäßig gewisse Arten des Gebrauches unserer Sinnesorgane bevorzugen, diejenigen nämlich, wobei wir erkennen, daß wir durch sie das sicherste und übereinstimmendste Urtheil, beziehlich Schätzung über die beobachteten Objecte, ihre Form, Raumverhältnisse und Beschaffenheit uns bilden können. So pflegen wir z. B. beim Sehen die Objecte, welche unsere Aufmerksamkeit erregen, auf den beiden Stellen des genauesten Sehens in beiden Augen abzubilden, dabei aber die Reihe der hervortretenden Punkte und Linien, die das Object darbietet, mit dem Blick zu durchlaufen, wodurch wir sowohl die Reihe aller Einzelheiten kennen lernen als auch das Auge gegen die Ausbildung störender Nachbilder schützen. Wir werden im Folgenden eine ganze Reihe solcher Regelmäßigkeiten in den Bewegungen des Auges kennen lernen, welche nicht auf einem zwingenden Mechanismus der Muskeln oder Nervenleitungen beruhen, sondern von jedem Beobachter, wenn er die entsprechenden abweichenden Innervationen zu geben gelernt hat, willkürlich geändert werden können. Dadurch läßt sich erweisen, daß die Einhaltung der normalen Regelmäßigkeit der Bewegungen nur ein Resultat der Gewöhnung ist und nicht etwa ein durch die Organisation unseres Körpers vorgebildeter Zwang. Allerdings sind solche Gewohnheiten oft sehr tief gewurzelt und nicht ganz leicht zu überwinden. Die von der Norm abweichenden Bewegungen erfordern entschieden mehr Anstrengung und ermüden schneller. Das ist aber eine gemeinsame Eigenthümlichkeit aller ungewohnten Bewegungen unserer Muskeln, weil dieselben meist durch unzuweckmäßige, einander entgegenwirkende und daher anstrengendere Innervationen hervorgebracht zu werden pflegen, als es die gewohnten und wohl eingeübten Bewegungen thun.

Bei ungewohnten Stellungen und Bewegungen unserer Sinnesorgane kommen nun auch entsprechende ungewöhnliche Perceptionen zu Stande, für welche wir keine eingeübte Kenntniß ihrer Bedeutung haben. Dann entstehen also falsche Deutungen derselben, und zwar kann man im Allgemeinen die Regel aufstellen, daß bei anomaler Stellung und Bewegung der Sinnesorgane Anschauungen entstehen von scheinbaren Objecten, wie sie vorhanden sein müßten, um bei derselben Blickrichtung unter normaler Beobachtungsweise dieselben Perceptionen hervorzubringen. Unter dieselbe Regel fallen auch die Anschauungen, welche sich bilden, wenn die Lichtstrahlen, ehe sie in das Auge fallen, von ihrem geradlinigen Wege abgelenkt werden, wie es durch Spiegelung und Brechung geschehen kann, nur daß wir in diesem Falle die Täuschung eher als solche erkennen; aber das Bild, was sich uns darbietet, ist immer das eines Gegenstandes oder einer scheinbaren Ausbreitung von Licht im Gesichtsfelde, wie sie vorhanden sein müßte, um uns bei ungestörtem geradlinigen Einfall des objectiven Lichtes in das Auge dieselben Gesichtsbilder zu geben.

Beispiele von Fällen dieser Art werden sich im weiteren Verfolg dieser Untersuchung vielfach darbieten. Ihre Erklärungen werden sich besser bei den einzelnen Beispielen durchführen lassen unter genauer Beschreibung der Bedingungen, unter denen die einzelnen Täuschungen eintreten. Physiologisch sind diese Erscheinungen von Wichtigkeit, weil sie uns die normalen Beobachtungsmethoden des Auges kennen lehren, von denen sich meistens nachweisen läßt, daß sie auch als diejenigen angesehen werden dürfen, welche die genauesten Schätzungen der Dimensionen durch das Augenmaß, die genauesten Vergleichen der Farben und Helligkeiten, überhaupt eine möglichst genaue und sichere Beurtheilung der interessirenden Theile des Bildes zulassen.

Was den Grad der Täuschung bei solchen Gelegenheiten betrifft, so kann

derselbe sehr verschieden sein. Man denke z. B. an die Bilder, welche ein guter ebener Planspiegel zurückwirft, der an der Wand hängt, so daß man nicht dahinter sehen kann. Ein solcher giebt eine der vollkommensten optischen Täuschungen, die man sich denken kann, und doch werden selbst Thiere selten durch ein Spiegelbild zu einem Irrthum verleitet; Kinder blicken, wenn sie können, wohl einen Augenblick nach der Hinterseite des Spiegels und amüsiren sich an dem Bilde und seinen Bewegungen, aber begreifen verhältnißmäßig schnell, daß es eine Täuschung sei, die nicht der Wirklichkeit entspricht, und lernen das Spiegelbild bald als ihr eigenes Abbild auffassen.

Um die Täuschung kurze Zeit zu unterhalten, muß man schon die Ränder des Spiegels gut verstecken und verhindern, daß der Beobachter sich selbst gespiegelt sehe.

Die meisten anderen Sinnestäuschungen werden gewöhnlich schnell als solche entdeckt, weil der Beobachter sich bewußt ist, eine ungewöhnliche Art der Beobachtung anzuwenden, von der aus er geneigt ist, in die normale, ihm geläufigere überzugehen, in der die Täuschung schwindet und als solche erkannt wird. Nur wenn dazu keine Zeit ist, tritt wohl ein wirklicher Irrthum ein, der einen Augenblick dauert, z. B. bei den Lichtblitzen, die ein Stofs gegen das Auge erregt.

Deshalb erscheinen die meisten Sinnestäuschungen nur in der Weise, daß man bemerkt, man habe ein der Wirklichkeit nicht ganz entsprechendes Bild vor sich, und daß man nun dieses Bild vergleicht mit demjenigen, welches abgeänderte Objecte bei richtigem Sehen geben würden. Die besondere Art dieses Bildes aber kann man nur beschreiben oder im eigenen Gedächtniß festhalten, indem man sich oder Anderen die Objecte beschreibt, welche da sein müßten, um dem normalen Auge ein ähnliches Bild zu geben. Dann ist sogar die Form der Beschreibung: „Ich sehe das durch die Täuschung veränderte Object“ eine ganz richtige Beschreibung der Empfindung, die der Beobachter hat, und meistens wird er sich selbst bei geringer Erfahrung dabei ganz klar über die Täuschung sein, die sich ihm darbietet.

Für alle subjectiven Erscheinungen, deren Ursache an einem bestimmten Ort im Augapfel haftet, ist die Bewegung des Phänomens mit dem Blick bei Bewegung des Auges ein Kennzeichen, welches sehr schnell aufgefaßt wird und die subjective Natur aufdeckt. Da nun unser Interesse überwiegend der Erkenntniß der umgebenden Außenwelt zugewendet ist, so wenden wir unsere Aufmerksamkeit gewohnheitsmäßig von solchen subjectiven Erscheinungen ab, die sich gleich als subjectiv verrathen, und es tritt sogar eine gewisse Schwierigkeit ein, dieselben zu beobachten und die ihnen entsprechende Intention der Aufmerksamkeit zu finden. Verstärkt wird diese Schwierigkeit allerdings in hohem Mafse durch die Steigerung der Reizbarkeit, welche in dauernd beschatteten Stellen der Netzhaut, beziehlich die Verminderung derselben, die in dauernd beleuchteten Stellen der Netzhaut eintritt. Hauptsächlich dieser Vorgang ist es, auf welchen das allmälige Verlöschen der im Auge streng fest liegenden Bilder zurückzuführen zu sein scheint.

Ich habe schon in § 15 hervorgehoben, wie sehr es dabei darauf ankomme, die Beschattung zwischen verschiedenen Netzhautstellen wechseln zu lassen. Von den Phänomenen des Sehnerveneintritts und der Schwierigkeit, ihn zu sehen, werden wir in § 20 zu handeln haben.

Eine eigenthümliche Rolle spielt hierbei noch die Schwierigkeit, die Aufmerksamkeit auf einen bestimmten Theil der vorliegenden Perceptionen zu concentriren. Einen gewissen Einfluß hat dabei eine Art willkürlicher Anstrengung. Ich ver-

weise hierbei auf die unten in § 28 besprochenen Versuche mit momentaner Beleuchtung eines vorher vollständig verdunkelten Feldes, auf welchem ein Blatt mit grossen gedruckten Buchstaben ausgebreitet war. Vor der elektrischen Entladung erblickte der Beobachter nichts als einen mässig erhellten Nadelstich, der das Papier durchbohrte. Dieser wurde fest fixirt und diente zur ungefähren Orientirung über die Richtungen in dem dunklen Felde. Die elektrische Entladung erleuchtete das bedruckte Blatt für einen untheilbaren Augenblick, in welchem das Bild desselben sichtbar wurde und eine sehr kurze Zeit als positives Nachbild stehen blieb. Die Dauer der Wahrnehmbarkeit des Bildes war also auf die Dauer des Nachbildes beschränkt. Augenbewegungen von merkbarer Grösse konnten während der Dauer des Funkens nicht ausgeführt werden, und auch solche während der kurzen Dauer des Nachbildes konnten dessen Lage auf der Netzhaut nicht mehr ändern. Dessenungeachtet fand ich es möglich, mir vorher vorzunehmen, welchen Theil des dunklen Feldes seitlich von dem fortdauernd fest fixirten hellen Nadelstich ich im indirecten Sehen wahrnehmen wollte, und erkannte bei der elektrischen Beleuchtung dann wirklich einige Buchstabengruppen jener Gegend des Feldes, meist aber mit dazwischenbleibenden Lücken, die leer blieben. Nach starken Blitzen hatte ich in der Regel mehr Buchstaben gelesen, als nach schwächeren. Die Buchstaben des bei Weitem grössten Theile des Feldes waren dagegen nicht zur Wahrnehmung gekommen, auch nicht immer die in der Nähe des Fixationspunktes. Bei einer folgenden elektrischen Entladung konnte ich, immer den Nadelstich fixirend, meine Wahrnehmung auf eine andere Gegend des Feldes richten und dann dort eine Gruppe von Buchstaben lesen.

Diese Beobachtungen erweisen, wie mir scheint, dafs man durch eine willkürliche Art von Intention, auch ohne Augenbewegungen, ohne Änderungen der Accommodation die Aufmerksamkeit auf die Empfindungen eines bestimmten Theils unseres peripherischen Nervensystems concentriren, und sie gleichzeitig von allen anderen Theilen desselben ausschliessen kann.

Bei der gewöhnlichen Art des Beobachtens richten wir allerdings auch die Aufmerksamkeit willkürlich besonderen Theilen des Gesichtsfeldes oder des Gebietes der Perceptionen überhaupt zu. Dabei folgt aber Richtung des Blicks und Accommodation der Intention der Aufmerksamkeit, und es könnte also diese Erfahrung so ausgelegt werden, dafs die Aufmerksamkeit eben stets an die Netzhautgrube geknüpft sei, und das die Willkürlichkeit ihrer Richtung nur durch die Willkürlichkeit der Augenbewegungen bedingt sei. In der That ist es recht schwer und erfordert vielfache Übung, wenn man lernen, will die Aufmerksamkeit den Bildern der seitlichen oder peripherischen Theile der Netzhaut zuzuwenden, wie dies mehr oder weniger fast alle die bisher beschriebenen Phänomene der genannten Art erkennen lassen. Als solche Bedingungen, unter denen dieselben leichter die Aufmerksamkeit auf sich ziehen, sind folgende zu bemerken:

1. Höhere Intensitäten der Phänomene, namentlich wenn dieselben die Sichtbarkeit der reellen Objecte beeinträchtigen.

2. Schneller Wechsel des Helligkeitsunterschiedes zwischen nahe benachbarten Theilen des Feldes, daher auch Bewegung begrenzter Flächenstücke im Felde, oder auch Bewegung von Schatten durch Wechsel der Beleuchtungsrichtung, wie bei den entoptischen Objecten. Wechsel der Helligkeit bringt, wie schon bemerkt, wegen der abschwächenden Wirkung der negativen Nachbilder stets einen intensiveren Eindruck hervor, als constante Intensität der Beleuchtung. Das könnte einen Theil der dadurch erfolgenden Vermehrung der Aufmerksamkeit erklären. Der unmittelbare Eindruck

im Bewußtsein ist aber mehr, daß jeder schnelle Wechsel im Seitentheile des Gesichtsfeldes die Frage nach dem Grunde der bemerkten Änderung anregt und daher gewöhnlich der Blick schnell nach der Stelle gerichtet wird, wo man die Veränderung bemerkt hat.

3. Das objective Interesse hat überhaupt einen mächtigen Einfluß auf die Lenkung der Aufmerksamkeit und kann sie fast vollständig beherrschen. Man denke an das Verhalten beim Lesen, wo Blick, Accommodation und Aufmerksamkeit gleichzeitig den Worten der begonnenen Zeile folgen und von Zeile zu Zeile weitergehen ohne Unterbrechung und Störung, wenigstens wenn das Gelesene interessant ist.

Dieser Einfluß des objectiven Interesses fällt aber größtentheils mit dem Einfluß des Willens zusammen, da sich Willensintentionen am leichtesten und häufigsten an Wünsche, d. h. Interessen, anzuknüpfen pflegen.

Daß übrigens die willkürliche Lenkung der Aufmerksamkeit eine ermüdende Leistung des Gehirns ist, lehrt die alltägliche Erfahrung, auch wenn keinerlei Muskularbeit damit verbunden ist.

433

Dieselbe Schwierigkeit, welche wir finden, Empfindungen subjectiver Art zu beobachten, d. h. solche, welche durch innere Ursachen hervorgerufen sind, dieselbe tritt auch ein, wenn zusammengesetzte Empfindungen, welche stets in derselben Verbindung durch irgend ein einfaches Object erregt zu werden pflegen, in ihre einzelnen Bestandtheile aufgelöst werden sollen. In solchen Fällen lehrt uns die Erfahrung ein zusammengesetztes Aggregat von Empfindungen als das Zeichen für ein einfaches Object kennen und, gewöhnt, den Empfindungscomplex als ein zusammengehöriges Ganze zu betrachten, vermögen wir in der Regel nicht ohne äußere Hilfe und Unterstützung uns der einfachen Bestandtheile eines solchen bewußt zu werden. Beispiele dieser Art werden wir im Folgenden viele kennen lernen. Die Wahrnehmung der Richtung zum Beispiel, in welcher sich ein Object vom Auge befindet, beruht auf der Combination derjenigen Empfindungen, nach denen wir die Stellung des Auges beurtheilen, und der Unterscheidung derjenigen Netzhauttheile, welche vom Licht getroffen sind, von den nicht getroffenen. Die Wahrnehmung der körperlichen Form eines nach drei Dimensionen ausgedehnten Objects beruht auf der Combination zweier verschiedener perspectivischer Ansichten von beiden Augen. Die scheinbar einfache Qualität des Glanzes einer Fläche beruht auf verschiedener Färbung oder Helligkeit ihres Bildes in beiden Augen. Es sind diese Sätze theoretisch gefunden und können durch passende Versuche erwiesen werden, aber es ist meist sehr schwer, oft unmöglich, durch directe Beobachtung und Analyse der Empfindungen allein dies zu finden. Selbst bei viel zusammengesetzteren Empfindungen, die nur häufig wiederkehrenden zusammengesetzten Objecten entsprechen, wird die Analyse der Empfindung durch bloße Beobachtung desto schwerer, je häufiger dieselbe Zusammensetzung wiedergekehrt ist und je mehr wir uns gewöhnt haben, sie als das normale Zeichen der wirklichen Beschaffenheit des Objects zu betrachten. Als Beispiel dazu möge die bekannte Erfahrung dienen, daß die Farben einer Landschaft viel glänzender und bestimmter heraustreten, wenn man sie bei schiefer und umgekehrter Lage

des Kopfes betrachtet, als bei der gewöhnlichen aufrechten Haltung. Bei der gewöhnlichen Art der Beobachtung suchen wir nur die Objecte als solche richtig zu beurtheilen. Wir wissen, daß grüne Flächen aus einer gewissen Entfernung in etwas verändertem Farbenton erscheinen; wir gewöhnen uns von dieser Veränderung abzusehen und lernen das veränderte Grün ferner Wiesen und Bäume doch mit der entsprechenden Farbe naher Objecte zu identificiren. Bei sehr fernen Objecten, fernen Bergreihen bleibt von der Körperfarbe wenig zu erkennen, sie wird meist durch die Farbe der erleuchteten Luft überdeckt. Diese unbestimmt blaugraue Farbe, an welche nach oben das helle blaue Feld des Himmels oder das rothgelbe der Abendbeleuchtung, nach unten das lebhafte Grün der Wiesen und Wälder grenzt, 434 ist Veränderungen durch den Contrast sehr ausgesetzt. Es ist für uns die unbestimmte und wechselnde Farbe der Ferne, deren Unterschied zu verschiedenen Zeiten und bei verschiedenen Beleuchtungen wir wohl genauer beachten, während wir ihre wahre Beschaffenheit nicht bestimmen, da wir sie auf kein bestimmtes Object zu übertragen haben und wir eben ihre wechselnde Beschaffenheit kennen. So wie wir uns aber in ungewöhnliche Umstände versetzen, z. B. unter dem Arme oder zwischen den Beinen durchsehen, so erscheint uns die Landschaft als ein plattes Bild, theils wegen der ungewöhnlichen Lage ihres Bildes im Auge, theils weil die binoculare Beurtheilung der Entfernung, wie wir unten sehen werden, ungenauer wird. Ja es kommt wohl vor, daß bei umgekehrtem Kopfe die Wolken richtige Perspective bekommen, während die Objecte der Erde als ein Gemälde auf senkrechter Fläche erscheinen, wie sonst die Wolken am Himmel. Damit verlieren auch die Farben ihre Beziehung zu nahen oder fernen Objecten und treten uns nun rein in ihren eigenthümlichen Unterschieden entgegen.¹ Da erkennen wir denn ohne Mühe, daß das unbestimmte Blaugrau der weiten Ferne oft ziemlich gesättigtes Violett ist, daß das Grün der Vegetation stufenweise durch Blaugrün und Blau in jenes Violett übergeht u. s. w. Dieser ganze Unterschied scheint mir nur darauf zu beruhen, daß wir die Farben nicht mehr als Zeichen für die Beschaffenheit von Objecten betrachten, sondern nur noch als verschiedene Empfindungen und wir deshalb ihre eigenthümlichen Unterschiede, unbeirrt durch andere Rücksichten, genauer auffassen.

Wie sehr wir durch die Beziehung der Empfindungen auf äußere Objecte an der Perception der einfachsten Verhältnisse der Empfindungen selbst gestört werden, wird sich namentlich auch in der Schwierigkeit zeigen, mit der wir die binocularen Doppelbilder wahrnehmen, wenn dieselben als Bilder ein und desselben äußeren Objects aufgefaßt werden können.

Die gleichen Erfahrungen können wir im Gebiete anderer Sinnesempfindungen in gleicher Weise machen. Die Empfindung der Klangfarbe eines Schalls ist, wie ich anderwärts² gezeigt habe, zusammengesetzt aus einer Reihe von Empfindungen seiner einzelnen Partialtöne (Grundton und

¹ Dieselbe Erklärung bei O. N. ROOD, in *Silliman Journal* (2) XXXII, p. 184—185, 1861.

² HELMHOLTZ, *Die Lehre von den Tonempfindungen*. Braunschweig, 1. Aufl. 1862. 4. Aufl. 1877.

harmonische Obertöne), aber es ist außerordentlich schwer, die zusammengesetzte Empfindung des Klanges in diese ihre Bestandtheile aufzulösen. Die Tastempfindung des Nassen ist zusammengesetzt aus der der Kälte und des leichten Gleitens über die Oberfläche. Wenn wir deshalb unvermuthet ein kaltes glattes Metallstück berühren, glauben wir oft, etwas Nasses berührt zu haben. Beispiele dieser Art würden sich noch viele häufen lassen. Sie alle zeigen, daß wir außerordentlich gut eingeübt sind, aus unseren Sinnesempfindungen die objectiven Beschaffenheiten der Objecte der Außenwelt zu ermitteln, in der Beobachtung isolirter Empfindungen aber viel weniger sicher sind, und daß uns die eingeübte Beziehung auf die Außenwelt sogar hindert, die reinen Empfindungen uns deutlich zum Bewußtsein zu bringen.

435 Auch ist dies nicht bloß für die qualitativen Unterschiede der Empfindung geltend, es gilt ebenso für die Wahrnehmung räumlicher Verhältnisse. Die Bewegung eines gehenden Menschen zum Beispiel ist uns ein vertrauter und gewohnter Anblick. Wir betrachten sie als zusammenhängendes Ganze und werden uns höchstens ihrer auffallendsten Einzelheiten bewußt. Es gehört große Aufmerksamkeit dazu und eine besondere Wahl des Gesichtspunkts, um die senkrechten und seitlichen Schwankungen des Körpers eines Gehenden zu erkennen. Wir müssen passend gelegene Punkte oder Linien des Hintergrunds wählen, mit dem wir die Lage seines Kopfes vergleichen. Man betrachte aber einmal ferne gehende Menschen durch ein astronomisches Fernrohr, welches umgekehrte Bilder zeigt, welche ein seltsames Hüpfen und Wiegen des Körpers die Gehenden hervorbringen. Dabei hat man gar keine Schwierigkeiten mehr, die einzelnen Schwankungen des Körpers und manche andere Einzelheiten des Ganges, namentlich auch die individuellen Verschiedenheiten und deren Grund zu erkennen, nur weil dieser Anblick nicht mehr der alltäglich gewohnte ist. Dagegen tritt im umgekehrten Bilde der Charakter des Ganges, ob er leicht oder schwerfällig, würdevoll oder anmüthig ist, nicht mehr so gut hervor, wie im aufrechten.

Es kann unter diesen Umständen oft recht schwer werden, zu beurtheilen, was in unseren durch den Gesichtssinn gewonnenen Anschauungen unmittelbar durch die Empfindung, und was im Gegentheil durch Erfahrung und Einübung bedingt ist. An diese Schwierigkeit knüpft sich auch der hauptsächlichste principielle Gegensatz, welcher zwischen verschiedenen Forschern in diesem Gebiete besteht. Die einen sind geneigt, dem Einfluß der Erfahrung einen möglichst breiten Spielraum einzuräumen, namentlich alle Raumanschauung daraus herzuleiten; wir können diese Ansicht als die empiristische Theorie bezeichnen. Die andern müssen allerdings den Einfluß der Erfahrung für eine gewisse Reihe von Wahrnehmungen zugeben, glauben aber für gewisse, bei allen Beobachtern gleichförmig eintretende elementare Anschauungen ein System von angeborenen und nicht auf Erfahrung begründeten Anschauungen, namentlich der Raumverhältnisse, voraussetzen zu müssen. Wir dürfen diese letztere Ansicht im Gegensatz zur

ersteren wohl als die nativistische Theorie der Sinneswahrnehmungen bezeichnen.

In diesem Streite sind, wie ich glaube, folgende Grundsätze festzuhalten.

Wenn wir den Namen der Vorstellung beschränken auf das Erinnerungsbild von Gesichtsubjecten, welches von keinen gegenwärtigen sinnlichen Empfindungen begleitet ist, den der Anschauung auf die von den bezüglichen sinnlichen Empfindungen begleitete Wahrnehmung, den der Perception auf eine solche Anschauung, in der nichts enthalten ist, was nicht aus den unmittelbar gegenwärtigen sinnlichen Empfindungen hervorgeht, also eine Anschauung, wie sie auch ohne alle Erinnerung an früher Erfahrenes sich bilden könnte, so ist zunächst klar, daß ein und dieselbe Anschauung in sehr verschiedenem Mafse von den entsprechenden sinnlichen Empfindungen begleitet sein kann, daß also Vorstellung und Perception in den verschiedensten Verhältnissen sich zur Anschauung verbinden können.

Wenn ich mich in einem bekannten Zimmer befinde bei hellem Sonnenschein, so habe ich eine von sehr energischen Empfindungen reichlich begleitete Anschauung. In demselben Raum werde ich Abends in der Dämmerung nur die helleren Objecte erkennen können, namentlich die Fenster, aber was ich wirklich noch erkenne, schmilzt mit meinen Gedächtnisbildern, die das Zimmer betreffen, so zusammen, daß ich immer noch im Stande sein werde, mich in demselben sicher umher zu bewegen und Gegenstände, die ich suche, zu finden, selbst wenn ich von ihnen nur ein schattenhaftes Bild erhaschen kann, was ohne meine vorgängige Kenntniß durchaus ungenügend wäre, sie zu erkennen. Endlich kann ich mich in demselben Raume in absolutem Dunkel befinden, und mich doch, vermöge der Erinnerung an die früher von ihm erhaltenen Gesichtsbilder in ihm zurechtfinden, so daß das Anschauungsbild durch immer weitere Beschränkung des sinnlichen Materials endlich auf das reine Vorstellungsbild zurückgeführt werden und in dieses allmählig übergehen kann. Meine Bewegungen werden allerdings um so unsicherer, meine Anschauung um so ungenauer werden, je mehr das sinnliche Material entzogen wird, indessen wird kein eigentlicher Sprung stattfinden, sondern Empfindung und Erinnerung werden sich fortdauernd ergänzen, nur in verschiedenem Mafse. 436

Aber selbst, wenn wir ein solches Zimmer bei vollem Sonnenschein beschauen, so zeigt eine leichte Ueberlegung, daß auch dann ein großer Theil unseres Anschauungsbildes auf Momenten der Erinnerung und Erfahrung beruhen mag. Unsere Gewöhnung an die perspectivischen Verziehungen der Bilder parallelepipedischer Körper und an die Form der Schlagschatten ist bei der Beurtheilung ihrer Form und ihrer Größe von beträchtlichem Einflusse, wie wir später sehen werden. Schließen wir, während wir das Zimmer betrachten, ein Auge, so glauben wir es nicht weniger deutlich und bestimmt vor uns zu sehen, als mit zwei Augen, und doch würde uns nun genau dasselbe Gesichtsbild gegeben werden, wenn alle Punkte des Zimmers

so verschoben würden, daß sie ihre Entfernung vom Auge beliebig änderten, aber auf denselben Visirlinien blieben.

Während wir also in Wahrheit in einem solchen Falle eine äußerst vieldeutige sinnliche Erscheinung vor uns haben, geben wir ihr doch eine ganz bestimmte Auslegung, und es ist gar nicht leicht, sich dessen bewußt zu werden, daß das einäugige Bild eines solchen wohlbekannten Gegenstandes eine viel mangelhaftere Wahrnehmung bedingt, als das der beiden Augen. So ist es auch, wenn ungeübte Beobachter stereoskopische Photographien betrachten, oft genug schwer herauszubringen, ob sie die eigenthümliche Täuschung, die das Instrument giebt, erkennen oder nicht.

Wir sehen also, wie hierbei die Erinnerungsbilder aus früheren Erfahrungen zusammenwirken mit gegenwärtigen Sinnesempfindungen, um ein Anschauungsbild hervorzubringen, welches sich unserem Wahrnehmungsvermögen mit zwingender Macht aufdrängt, ohne daß darin für das Bewußtsein sich deutlich trennt, was durch Erinnerung, was durch gegenwärtige Wahrnehmung gegeben ist.

437 Noch schlagender ist der Einfluß des Verständnisses der Sinnesempfindungen, wenn in einzelnen Fällen, namentlich bei unvollkommener Beleuchtung ein Gesichtsbild im Anfange unverständlich ist, weil wir ihm nicht die richtigen Tiefendimensionen zu geben wissen, wenn wir z. B. irgend ein fernes Licht für nah, oder ein nahes für fern halten. Plötzlich fällt uns ein, was es ist, sogleich entwickelt sich unter dem Einflusse des richtigen Verständnisses auch das richtige Anschauungsbild in seiner vollen Energie, und wir sind nicht im Stande, von diesem zu der früheren unvollkommenen Anschauung zurückzukehren.

Sehr häufig kommt dies namentlich bei complicirten stereoskopischen Zeichnungen von Krystallformen und anderen vor, die in vollkommener sinnlicher Klarheit zur Anschauung kommen, sobald es gelungen ist, das richtige Verständniß erst einmal zu gewinnen.

Dergleichen Erfahrungen, die jeder Leser gelegentlich gemacht haben wird, beweisen, daß die aus der Erfahrung hergeleiteten Momente in den Sinneswahrnehmungen sich mit eben solcher zwingenden Kraft geltend machen können, wie die aus gegenwärtigen Empfindungen hergeleiteten, und es ist dies auch von allen den Beobachtern, die sich eingehend mit der Theorie der Sinneswahrnehmungen beschäftigt haben, immer zugegeben worden, selbst von denen, welche geneigt sind, der Erfahrung so wenig Spielraum als möglich, einzuräumen.

Daher muß jedenfalls die Möglichkeit zugegeben werden, daß auch in dem, was dem Erwachsenen als unmittelbare sinnliche Anschauung erscheint, noch eine Menge von einzelnen Momenten stecken, die in der That Product der Erfahrung sind, obgleich es vorläufig schwer ist, hier die Grenze zu ziehen.

Ich glaube nun, daß unsere bisherigen Erfahrungen uns berechtigen, den Satz aufzustellen, daß keine unzweifelhaft gegenwärtige

Empfindung durch einen Act des Verständnisses beseitigt und überwunden werden kann, sondern wenn wir auch noch so gut erkennen, daß dieselbe auf irgend eine anomale Weise zu Stande gekommen sei, so schwindet doch die Sinnestäuschung nicht durch das Verständniß des Vorganges. Wir können die Aufmerksamkeit von Empfindungen ablenken, namentlich, wenn es schwache und gewohnte Empfindungen sind, aber so wie wir auf diejenigen Verhältnisse der Außenwelt merken, die mit diesen Empfindungen in Verbindung stehen, werden wir gezwungen sein, dieselben zu bemerken. So können wir die Temperaturempfindung unserer Haut, wenn sie nicht sehr lebhaft ist, und die Berührungsempfindungen, welche unsere Kleider verursachen, vergessen, so lange wir uns mit ganz anderen Dingen beschäftigen. So wie wir aber unsere Aufmerksamkeit darauf lenken, ob es warm oder kalt sei, werden wir nicht im Stande sein, das Gefühl von Wärme in das von Kälte zu verwandeln, etwa, weil wir wissen, daß es herrührt von anstrengender Bewegung und nicht von der Temperatur der uns umgebenden Luft. Ebenso wenig schwindet der Lichtschein beim Druck auf das Auge durch bessere Einsicht in das Wesen des Processes, vorausgesetzt, daß wir unsere Aufmerksamkeit dem Gesichtsfelde zugewendet haben, und nicht etwa dem Ohre oder der Haut.

Andererseits können wir auch vielleicht nicht im Stande sein, einen Empfindungseindruck zu isoliren, weil er eingeht in das zusammengesetzte sinnliche Zeichen eines äußeren Objects. Dann zeigt aber die richtige Auffassung des Objects, daß die betreffende Empfindung percipirt und vom 438 Bewußtsein verwendet worden ist.

Ich schliesse daraus, daß nichts in unseren Sinneswahrnehmungen als Empfindung anerkannt werden kann, was durch Momente, die nachweisbar die Erfahrung gegeben hat, im Anschauungsbilde überwunden und in sein Gegentheil verkehrt werden kann.

Was also durch Erfahrungsmomente überwunden werden kann, werden wir selbst als Product der Erfahrung und Einübung zu betrachten haben. Es wird sich zeigen, daß wenn wir dieser Regel folgen, nur die Qualitäten der Empfindung als wirkliche reine Empfindung zu betrachten sind, bei weitem die meisten Raumschauungen aber als Product der Erfahrung und Einübung.

Dagegen folgt nicht, daß Anschauungen, die gegen unsere bessere bewußte Einsicht Stand halten und uns als Sinnestäuschungen stehen bleiben, nicht doch auf Erfahrung und Einübung beruhen könnten. Unsere Kenntniß der Farbenveränderungen, welche die Trübung der Luft an fernen Gegenständen hervorbringt, der perspectivischen Verziehungen und der Form der Schlag Schatten beruht unzweifelhaft auf Erfahrung, und doch werden wir vor einem guten Landschaftsbilde den vollkommenen sinnlichen Eindruck der Ferne und der körperlichen Gestalt darauf befindlicher Gebäude haben, trotzdem wir wissen, daß alles auf die Leinwand gezeichnet ist.

Ebenso ist unsere Kenntniß des zusammengesetzten Klangs der Vocale

jedenfalls aus der Erfahrung entnommen, und doch bekommen wir den sinnlichen Eindruck des Vocalklangs durch Zusammensetzung von einzelnen Stimmgabeltönen, wie ich dies gezeigt habe, und fassen den Klang als ein Ganzes, obgleich wir wissen, daß er in diesem Falle wirklich zusammengesetzt ist.

455 Die ältere Geschichte der Lehre von den Sinneswahrnehmungen im Allgemeinen fällt zusammen mit der Geschichte der Philosophie, wie schon am Schlusse des siebzehnten Paragraphen auseinandergesetzt ist. Die Physiologen des 17. und 18. Jahrhunderts kamen mit ihrer Untersuchung meist nur bis zum Netzhautbilde, und glaubten, daß mit dessen Bildung alles abgemacht sei, daher sie denn auch durch die Fragen, warum wir die Gegenstände aufrecht sehen und warum wir sie einfach sehen trotz der Existenz zweier verkehrten Nethautbilder, nicht wenig in Verlegenheit gesetzt wurden.

Unter den Philosophen hat zuerst CARTESIUS sich eingehender mit den Gesichtswahrnehmungen beschäftigt mit Berücksichtigung der naturwissenschaftlichen Kenntnisse seiner Zeit. Er erkennt die Qualitäten der Empfindung als wesentlich subjectiv an, hält aber die Anschauungen der quantitativen Verhältnisse der Größe, Gestalt, Bewegung, Lage, Dauer, Zahl der Gegenstände für objectiv richtig anschaulich. Zur Erklärung der Richtigkeit dieser Vorstellungen nimmt er aber wie die ihm nachfolgenden idealistischen Philosophen ein System angeborener Ideen an, die mit den Dingen übereinstimmen. Diese Theorie wurde dann später am consequentesten und reinsten von LEIBNITZ entwickelt.

BERKELEY untersuchte eingehend den Einfluß des Gedächtnisses auf die Gesichtswahrnehmungen und die inductiven Schlüsse, die dabei vorkommen, von denen er sagt, daß sie so schnell geschehen, daß wir sie nicht bemerken, wenn wir nicht absichtlich darauf achten. Diese empirische Basis führte ihn dann freilich zu der Behauptung, daß nicht bloß die Qualitäten der Empfindung, sondern auch die Wahrnehmungen überhaupt nur innere Prozesse seien, denen nichts äußereres entspreche. Er wird zu dieser Schlussfolgerung verleitet durch den falschen Satz, die Ursache (das wahrgenommene Object) müsse ihrer Wirkung (der Vorstellung) gleichartig, also auch ein geistiges Wesen, nicht ein reales Object sein.

Die Erkenntnistheorie von LOCKE leugnete die angeborenen Ideen und suchte alle Erkenntnis auf Empirie zu gründen; das Streben endete aber bei HUME in der Leugnung aller Möglichkeit von objectiver Erkenntnis.

456 Der wesentlichste Schritt, um die Frage auf den richtigen Standpunkt zu stellen, wurde von KANT in seiner Kritik der reinen Vernunft gethan, in der er allen realen Inhalt des Wissens aus der Erfahrung ableitete, von diesem aber unterschied, was in der Form unserer Anschauungen und Vorstellungen durch die eigenthümlichen Fähigkeiten unseres Geistes bedingt ist. Das reine Denken *a priori* kann nur formal richtige Sätze ergeben, die als nothwendige Gesetze des Denkens und Vorstellens allerdings absolut zwingend erscheinen, aber keine reale Bedeutung für die Wirklichkeit haben, also auch niemals irgend eine Folgerung über Thatsachen einer möglichen Erfahrung zulassen können.

In dieser Auffassung ist die Wahrnehmung anerkannt als eine Wirkung, welche das wahrgenommene Object auf unsere Sinnlichkeit hat, welche Wirkung in ihren näheren Bestimmungen ebenso gut abhängt von dem Wirkenden wie von der Natur dessen, auf welches gewirkt wird. Auf die empirischen Verhältnisse wurde dieser Standpunkt namentlich von JOH. MÜLLER übertragen in seiner Lehre von den specifischen Energien der Sinne.

Die nachfolgenden idealistischen Systeme der Philosophie von J. G. FICHTE, SCHELLING, HEGEL haben allen Nachdruck wieder darauf gelegt, daß die Vorstellung wesentlich abhängig sei von der Natur des Geistes, und den Einfluß, den das Wirkende auf die Wirkung hat, vernachlässigt. Sie sind deshalb auch für die Theorie der Sinneswahrnehmung von geringem Einflusse gewesen.

KANT hatte Raum und Zeit kurzweg als gegebene Formen aller Anschauung hingestellt, ohne weiter zu untersuchen, wie viel in der näheren Ausbildung der einzelnen räumlichen und zeitlichen Anschauungen aus der Erfahrung hergeleitet sein könnte. Diese Untersuchung lag auch außerhalb seines Weges. So betrachtete er namentlich die geometrischen Axiome auch als ursprünglich in der Raumschauung gegebene Sätze, eine Ansicht, die ich zu widerlegen gesucht habe.¹ Seinem Vorgange schlossen sich JOH. MÜLLER und die Reihe von Physiologen an, welche die nativistische Theorie der Raumschauung auszubilden suchten. JOH. MÜLLER selbst nahm an, daß die Netzhaut in ihrer räumlichen Ausdehnung sich selbst empfinden vermöge einer angeborenen Fähigkeit dazu, und daß die Empfindungen beider Netzhäute hierbei verschmelzen. Als derjenige, welcher in neuerer Zeit am consequentesten diese Ansicht durchzuführen und den neueren Entdeckungen anzupassen gesucht hat, ist E. HERING zu nennen.

Schon vor MÜLLER hatte STEINBUCH eine Herleitung der räumlichen Einzelschauungen mittelst der Bewegungen der Augen und des Körpers versucht. Von philosophischer Seite nahmen HERBART, LOTZE, WAITZ und CORNELIUS dieselbe Aufgabe in Angriff. Von empirischer Seite war es später namentlich WHEATSTONE, welcher durch die Erfindung des Stereoskops einen mächtigen Anstoß zur Untersuchung des Einflusses der Erfahrung auf unsere Gesichtsanschauungen gab. Außer kleineren Beiträgen, die ich selbst in verschiedenen Arbeiten zur Lösung dieser Aufgabe gegeben habe, sind hier als Versuche, eine empiristische Ansicht durchzuführen, zu nennen: die Schriften von NAGEL, WUNDT, CLASSEN. Das Nähere über diese Untersuchungen und Streitpunkte ist in den folgenden Paragraphen zu erörtern.

§ 27. Die Augenbewegungen.

457

Da die Bewegungen der Augen eine wesentliche Rolle bei der Bildung der Raumschauungen durch den Gesichtssinn spielen, so müssen wir zunächst mit ihnen näher bekannt werden.

Der Augapfel hat zwar keine aus Knochen fest geformte regelmässige Gelenkhöhle, wie wir sie in den Gelenken der Extremitäten finden; die Augenhöhle, in der er liegt, ist vielmehr, wie *Fig. 30*, S. 42, zeigt, im Ganzen eine Höhlung von der Gestalt einer vierkantigen Pyramide, deren Spitze nach hinten sieht, und welche sich in keiner Weise dem nahehin kugelig geformten Augapfel anschließen kann. Die Lücken, welche zwischen dem letzteren und den knöchernen Wänden der Höhle bleiben, werden durch sehr fetthaltiges loses Bindegewebe ausgefüllt, in welchem die Muskeln, Nerven, Gefäße des Auges, die Thränen drüse u. s. w. liegen. Verhältnismässig am engsten sind diese Lücken längs des vorderen Randes der Augenhöhle; es bleibt dort, namentlich nach oben, innen und außen nur ein ziemlich schmaler Spalt zwischen dem Augapfel und dem Knochen übrig, wie man leicht fühlen kann, wenn man die Fingerspitze dazwischenzuschieben sucht. Man kann dies nicht, ohne sogleich Druckbilder hervorzubringen; nur nach unten und außen gegen das Jochbein hin ist die Lücke etwas größer. Dadurch ist nun die weiche Masse von Fett, Muskeln, Nerven, Gefäßen und Drüsen, welche hinter dem Augapfel liegt, in eine Höhlung eingeschlossen, welche fast vollständig von festen Wänden umgeben ist, und nur wenige

Siehe: H. v. HELMHOLTZ, *Populäre wissenschaftliche Reden und Vorträge*. Bd. II, S. 1.

und schmale Spalten von nachgiebigerer Substanz darbietet. Diese Höhlung wird nach hinten und nach den Seiten von den knöchernen Wänden der Augenhöhle, nach vorn durch den Augapfel selbst gebildet. Da nun die genannten organischen Massen, Fett, Muskeln, Nerven u. s. w. fast ganz incompressibel sind, wie das Wasser, welches den grössten Theil ihres Gewichts ausmacht, und weder merklich ausweichen, noch an Volum zunehmen können, so sind zunächst alle Bewegungen des Augapfels an die Bedingung gebunden, daß durch sie das Volumen der hinter dem Augapfel gelegenen Theile nicht verändert werden kann.

Der Augapfel kann also unter normalen Verhältnissen nicht in die Augenhöhle hineindringen oder aus ihr heraustreten, wenigstens nicht bei den schnell wechselnden Zusammenziehungen seiner Muskeln. Wenn Blut stärker in die Gefäße der Augenhöhle eindringt oder aus ihnen sich entleert, wie es z. B. nach erschöpfenden Krankheiten und im Tode geschieht, so wird dadurch allerdings das Volumen der weichen hinter dem Augapfel liegenden Theile verändert, und dieser dringt vor oder zieht sich zurück. Dergleichen Veränderungen können aber bei den willkürlichen Bewegungen des Auges nicht eintreten. Wenn man versucht, den Augapfel mit den aufgelegten Fingern in die Augenhöhle zurückzudrängen, so fühlt man gleich einen erheblichen Widerstand, noch ehe eine merkliche Verschiebung des Auges eingetreten ist, und man bemerkt die subjectiven Erscheinungen, welche der Druck im Auge hervorruft. Dabei sieht man die Weichtheile neben dem Augapfel, namentlich unten hervordrängen; so wie man mit dem Drucke nachläßt, ziehen diese sich aber auch vermöge ihrer elastischen Spannung wieder zurück.

Ebenso wenig kann sich der Augapfel als Ganzes nach rechts und links, oder nach oben und unten verschieben, weil ihm hier überall die benachbarten Theile des vorderen knöchernen Randes der Augenhöhle in den Weg treten.

Dadurch sind also alle Verschiebungen des Augapfels als Ganzes, das heißt, alle Verschiebungen, bei welchen sämtliche Punkte des Augapfels sich in gleicher Richtung bewegen, unmöglich gemacht, und es bleiben als ausführbar nur Drehungen übrig, das heißt Bewegungen, bei welchen eine Seite des Augapfels in die Augenhöhle hineintritt, während eine andere heraustritt. Im Ganzen hat also die Art, wie der Augapfel eingebettet ist, für die Bewegungen desselben dasselbe mechanische Resultat, als wäre er ein kugeliges Gelenkkopf, in einer kugeligen Pfanne befestigt, wie der Kopf des Oberschenkelbeins.

Wenn der Augapfel also nur drehende Bewegungen ausführen kann, so ist die erste Frage die nach dem Mittelpunkte dieser Drehungen.

Professor JUNGE aus Petersburg hat in meinem Laboratorium den Drehpunkt des Auges zu bestimmen gesucht, indem er beobachtete, um wie viel sich die Lichtreflexe beider Hornhäute einander näherten, wenn die Gesichtslinien aus paralleler Stellung in einen bestimmten Convergenzwinkel über-

gingen. Es zeigte sich indessen, daß die Ellipticität der Hornhäute einen merklichen Einfluß auf die Berechnung der Resultate hatte, und da es sehr mühsam ist, diese Ellipticität für viele Augen zu bestimmen, so war die Methode nicht eben ausgedehnter Anwendung fähig, obgleich sie übrigens sehr genaue Resultate gab.

DONDERS und DOJER¹ haben deshalb eine einfachere Methode angewendet, welche sich als zureichend genau bewährte. Es wurde zuerst der horizontale Durchmesser der Hornhaut mit dem Ophthalmometer gemessen, und die Lage der Gesichtslinie gegen die Hornhautaxe bestimmt. Dann wurde ein feiner senkrechter Faden unmittelbar vor dem Auge ausgespannt, und beobachtet, wie weit das Auge nach rechts und links blicken mußte, damit bald der eine, bald der andere Rand der Hornhaut hinter den Faden trat. Aus diesem Winkel und der bekannten Breite der Drehungen liefs sich dann die Lage des Drehpunkts berechnen. Das Nähere darüber unten.

Danach ergab sich, daß bei 19 normalsichtigen Augen der Drehpunkt zwischen 10,42 und 11,77 Mm. hinter der durch den Rand der Hornhaut gelegten Ebene lag, im Mittel 10,957; oder 13,557 hinter dem Scheitel der Hornhaut, und etwa 10 Mm. vor der hinteren Fläche der Sclerotica, der letzteren also etwas näher als der Basis der Hornhaut. Die Lage des Drehpunkts hängt eben hauptsächlich ab von der Form der hinteren Hälfte des Augapfels, weil nur diese in Berührung kommt mit dem widerstehenden weichen Polster, welches den Grund der Augenhöhle ausfüllt. Diese hintere Hälfte des Augapfels scheint bei normalen Augen einem stärker abgeplatteten Ellipsoide anzugehören, als die vordere; der Drehpunkt muß etwa mit dem Mittelpunkte dieses Ellipsoids zusammenfallen. 459

Kurzichtige Augen sind nach hinten verlängert; bei ihnen liegt deshalb der Drehpunkt auch weiter nach hinten als bei normalsichtigen. DONDERS fand ihn im Maximo bis zu 13,26 Mm. hinter der Basis der Hornhaut oder 15,86 hinter ihrem Scheitel liegend. Hyperopische Augen dagegen sind hinten abgeflacht, wobei auch der Drehpunkt ein wenig mehr nach vorn rückt; das Minimum seiner Entfernung von der Basis der Hornhaut betrug 9,71 Mm. oder 12,32 hinter dem Scheitel der Hornhaut.

Ob der Drehpunkt für jede Richtung und Größe der Drehung ganz constant sei, hat DONDERS noch nicht untersucht.

Es stellte sich bei diesen Versuchen ferner heraus, daß die normalen Augen mit einer einzigen Ausnahme die für diese Versuche nöthigen Drehungen des Auges, welche 28° nach beiden Seiten hin betragen, ohne Schwierigkeit ausführen konnten, die kurzsichtigen Augen aber hatten oft eine beschränktere Beweglichkeit; unter den Hyperopen fand sich ebenfalls nur ein Ausnahmefall mit beschränkterer Beweglichkeit. Doch können die meisten Augen auch wohl noch stärkere Drehungen ausführen. Ich erreiche bei stärkerer Anstrengung in horizontaler Richtung etwa 50° nach beiden

¹ Derde Jaarlijksch Verslag betr. het Nederlandsch Gasthuis voor Ooglijders. Utrecht 1862, p. 209—229.

Seiten, und etwa 45° nach oben und nach unten, so daß ich von oben nach unten das Auge etwa um einen rechten Winkel, von rechts nach links um etwas mehr drehen kann. Die äußersten Drehungen sind aber schon sehr gezwängt und nicht lange zu ertragen.

Wir gehen jetzt dazu über zu untersuchen, welche Drehungen vom Augapfel ausgeführt werden. In der Art der Befestigung des Augapfels liegt kein Hinderniß für eine jede Art von Drehung von mässiger Amplitude; die Muskeln sind ebenfalls vorhanden, welche Drehung um jede beliebige Axe würden ausführen können; die genauere Untersuchung der Bewegungen der menschlichen Augen hat aber ergeben, daß unter den gewöhnlichen Umständen des normalen Sehens durchaus nicht alle Bewegungen wirklich ausgeführt werden, zu deren Ausführung die mechanischen Mittel vorhanden sind. Wir werden also zunächst die Frage zu untersuchen haben, welche Bewegungen werden vom menschlichen Auge wirklich ausgeführt?

Bei den Bestimmungen der Lage der Augen und der gesehenen Objecte handelt es sich in der Regel darum, ihre Lage im Verhältniß zu der des Kopfes zu bestimmen, dessen Lage und Richtung im Raume selbst als bekannt angenommen werden muß. Zu diesen Bestimmungen verwenden wir zunächst am passendsten folgende von HENLE für die anatomischen Beschreibungen eingeführte Nomenclatur.

Der menschliche Kopf besteht aus zwei symmetrischen Hälften, seine 460 Mittelebene der Symmetrie nennen wir die Medianebene. Diejenigen Linien, welche entsprechende Punkte der rechten und linken Kopfhälfte verbinden, nennen wir transversale oder quere Linien. Sie sind senkrecht zur Medianebene. Ebenen, welche der Medianebene parallel laufen, heißen Sagittalschnitte.

Als natürliche Stellung des Kopfes kann diejenige betrachtet werden, welche bei aufrechter Haltung des Körpers angenommen wird, wenn die Blicke nach dem Horizont gerichtet sind. Bei dieser Haltung liegt für mich die *Glabella* des Stirnbeins (der Theil dicht über der Nasenwurzel) senkrecht über den Oberzähnen. Diese Stellung ist dadurch allerdings nicht ganz genau, sondern nur annähernd bezeichnet; wie für die Augenbewegungen eine genauere Bestimmung gewonnen werden kann, wird sich später zeigen. Die in dieser Haltung durch den Kopf gelegten horizontalen Ebenen heißen Horizontalschnitte oder Querschnitte, die senkrecht zur Medianebene gelegten verticalen Schnitte dagegen Frontalschnitte. Die Frontalschnitte und Querschnitte schneiden sich in transversalen Linien. Die Linien, in denen sich die Medianebene und die ihr parallelen Sagittalschnitte mit den Querschnitten (Horizontalschnitten) schneiden, heißen sagittale (pfeilrechte) Linien, und diejenigen, in denen sich die Medianebene und die Sagittalschnitte mit den Frontalschnitten schneiden, verticale (senkrecht) Linien. Die transversalen Linien also verlaufen von rechts nach links, die sagittalen von vorn nach hinten, die verticalen von oben nach unten.

So ist ein rechtwinkeliges Coordinatensystem gegeben, welches im Kopfe selbst als fest, und mit ihm beweglich angesehen wird. Die beiden Seiten der Medianebene sind als rechts und links zu bezeichnen, die einer Sagittalebene als innen und außen, oder wo dies eine Verwechslung in Beziehung auf das Innere von hohlen Organen zulassen würde, nach HENLE'S Vorschlag als laterale (nach der äußeren Seite sehend) und als mediale (gegen die Medianebene sehend) zu bezeichnen. Die beiden Seiten der transversalen Schnitte werden als oben und unten bezeichnet werden können, oder wo dies bei schiefer Haltung des Kopfes zweideutig sein könnte, als stirnwärts und kinnwärts gekehrt. Die beiden Seiten der Frontalschnitte sind unzweideutig als vorn und hinten zu bezeichnen.

Für die Bewegungen des Auges bildet der Drehpunkt den festen Punkt, und beim normalen Sehen sind beide Augen immer so gestellt, daß sie ein und denselben äußeren Punkt fixiren, welcher Punkt, da das Sehen mit bewegtem Auge Blicken genannt wird, der Blickpunkt heißen mag (sonst auch Fixationspunkt genannt). Eine gerade Linie, welche vom Blickpunkte nach dem Drehpunkte des Auges gezogen ist, nennen wir Blicklinie. Sie ist nicht ganz identisch mit der Gesichtslinie, die dem ungebrochenen Lichtstrahle entspricht, sondern muß etwas auf deren innerer (medialer) Seite liegen, da der Drehpunkt vermuthlich in der Augenaxe, und somit medianwärts von der Gesichtslinie liegt. Doch wird die Abweichung beider Linien von einander in den meisten Fällen zu vernachlässigen sein. Ein Lichtstrahl, der der Blicklinie folgt, muß wie alle vom Blickpunkte ausgehenden Strahlen schließlich durch das Centrum des gelben Flecks gehen, ⁴⁶¹ und wird deshalb nicht in der Verlängerung der Blicklinie bleiben können.

Eine Ebene, welche durch die beiden Blicklinien gelegt ist, werde Blickebene genannt (der Name der Visirebene, der hierfür auch gebraucht ist, wird wohl besser für die Ebene, in der die Visirlinien liegen, aufgespart; übrigens wird der Unterschied zwischen Blickebene und Visirebene in der Regel zu vernachlässigen sein). Die Verbindungslinie der Drehpunkte, welche mit den beiden Blicklinien ein Dreieck einschließt, ist als Basis dieses Dreiecks betrachtet, und dem entsprechend Grundlinie (Basallinie) genannt worden. Die Medianebene des Kopfes schneidet die Grundlinie in ihrem Mittelpunkte, und die Blickebene in der Medianlinie der Blickebene.

Der Blickpunkt kann gehoben und gesenkt, das heißt stirnwärts oder kinnwärts bewegt werden. Das Feld, welches er durchlaufen kann, nennen wir das Blickfeld; seine Ausdehnung ist geringer als die des Gesichtsfeldes. Wir denken uns das Blickfeld als Theil einer Kugeloberfläche, deren Mittelpunkt im Drehpunkt liegt. Nehmen wir eine bestimmte Lage der Blickebene, die anfangs willkürlich gewählt, später näher bestimmt werden mag, als ihre Anfangslage an, so ist jede neue Lage der Blickebene zu bestimmen durch den Winkel, den sie mit der Anfangslage bildet, und den wir den Erhebungswinkel des Blicks nennen wollen. Derselbe ist

positiv zu rechnen, wenn die Blickebene stirnwärts, negativ, wenn sie kinnwärts verschoben ist.

In der Blickebene kann sich nun die Blicklinie jedes Auges lateralwärts oder medianwärts wenden; wir bezeichnen dies als Seitenwendungen des Blicks, und messen ihre Gröfse durch den Seitenwendungswinkel, das heifst durch den Winkel, den die Richtung der Blicklinie mit der Medianlinie der Blickebene bildet. Wendungen nach rechts mögen einen positiven Werth des Seitenwendungswinkels haben, Wendungen nach links einen negativen Werth.

Durch den Erhebungswinkel und den Seitenwendungswinkel ist die Richtung der Blicklinie gegeben. FICK, MEISSNER, WUNDT haben dazu zwei andere Winkel benutzt. In den von mir gebrauchten Bestimmungen wird die Blicklinie erst mit der Blickebene gehoben, und dann in der Blickebene seitwärts gewendet. FICK setzt die Blickebene zuerst als horizontal voraus, und die Blicklinie in ihr horizontal verschoben um einen Winkel, den er die *Longitudo* nennt, indem er die Verticalaxe des Auges mit der Polaraxe eines Erdglobus vergleicht. Dann läfst er die Blicklinie erst heben um einen Winkel, den er die *Latitudo* nennt. Bei dieser Messung sind aber sowohl die *Longitudo* als *Latitudo* in ihrem Werthe abhängig von der gewählten Anfangslage der Blickebene, für welche man von vorn herein keine genügend feste Bestimmungsweise hat, und jede Aenderung dieser Anfangslage macht trigonometrische Berechnungen für die beiden andern Winkel nöthig. Dagegen ist der von mir gewählte Seitenwendungswinkel ganz unabhängig von der Wahl der Anfangslage der Blickebene, und der Erhebungswinkel ist einfach durch Addition oder Subtraction zu corrigiren, wenn man zu einer anderen Wahl seines Nullpunkts übergeht.

462 Durch die genannten Winkel ist nun die Lage der Blicklinie vollständig gegeben, aber noch nicht die Stellung des Auges. Der Augapfel würde vielmehr noch beliebige Drehungen um die Blicklinie als Axe machen können, ohne dafs diese ihre Lage dabei ändert. Solche Drehungen des Augapfels um die Blicklinie als Axe pflegt man Raddrehungen zu nennen, weil die Iris sich dabei dreht, wie ein Rad. Um die Gröfse der Raddrehung zu messen, mufs der Winkel bestimmt werden, den eine im Auge feste Ebene mit der Blickebene macht. Als solche habe ich die Ebene gewählt, welche mit der Blickebene zusammenfällt, wenn der Blick beider Augen der Medianebene parallel in aufrechter Kopfhaltung nach dem unendlich entfernten Horizonte gerichtet ist, und habe diese im Auge feste Ebene den Netzhaut-horizont genannt. Ich fand diese Bestimmung unzweideutig bei meinen eignen und bei denjenigen normalsichtigen Augen, die ich untersuchte. Sie ist es aber nicht, wie sich später herausgestellt hat, bei kurzsichtigen Augen, und mufs also bei solchen entweder eine genau bestimmte Anfangslage der Blickebene festgesetzt werden, oder würde es für die später zu machenden Anwendungen vielleicht vortheilhaft sein, für solche Augen diejenige Lage der Blickebene zu benutzen, bei welcher die in der Blickebene liegenden

geraden Linien sich auf correspondirenden Stellen beider Netzhäute abbilden, was bei den normalsichtigen in der oben genannten der Medianebene parallelen Richtung des Blicks Regel zu sein scheint. Den Winkel zwischen dem Netzauthorizonte und der Blickebene nennen wir den Raddrehungswinkel des Auges, und nehmen ihn positiv, wenn das obere Ende des verticalen Meridians der Netzhaut nach rechts abgewichen ist. Dabei dreht sich das Auge wie der Zeiger einer von ihm betrachteten Uhr.

Wir wollen zunächst die Gesetze für diejenigen Bewegungen beider Augen untersuchen, bei denen beide Blicklinien fortdauernd parallel gerichtet bleiben, wie sie ausgeführt werden, wenn man eine Reihe weit entfernter Gegenstände überblickt. Bei Convergenz der Augen treten kleine Abweichungen vom dem Gesetze ein, welches für parallele Gesichtslinien gilt.

Das erste von DONDERS aufgestellte und durch alle späteren Untersuchungen bestätigte Gesetz ist, daß, wenn die Lage der Blicklinie in Beziehung zum Kopfe gegeben ist, dazu auch ein bestimmter und unveränderlicher Werth der Raddrehung gehört, welcher unabhängig von der Willkür des Beobachters und unabhängig von dem Wege ist, auf welchem die Blicklinie in die betreffende Stellung gebracht ist. Ausgedrückt in der von uns gewählten Bezeichnungsweise, heißt dieses Gesetz:

Der Raddrehungswinkel jedes Auges ist bei parallelen Blicklinien eine Function nur von dem Erhebungswinkel und dem Seitenwendungswinkel.

DONDERS hat namentlich entgegen der von HUECK früher aufgestellten Meinung gezeigt, daß der Werth der Raddrehung nicht wechselt bei geänderter Neigung des Kopfes, wenn dabei die Stellung der Blicklinie zum Kopfe unverändert bleibt. Er hatte die Stellung jedes einzelnen Auges auch für unabhängig von der Stellung des andern Auges gehalten. Dagegen hat VOLKMANN allerdings einen, wenn auch geringen Einfluß der Convergenz wenigstens für kurzsichtige Augen nachgewiesen, den wir nachher besprechen werden. Aber auch abgesehen davon hat Ermüdung der Augenmuskeln durch länger eingehaltene Convergenzstellungen einigen Einfluß, und außerdem kann unter besonderen ebenfalls nachher zu besprechenden Umständen das Streben, die Objecte einfach zu sehen, unter Bedingungen, wo man dies nur mittelst abnormer Augendrehungen erreichen kann, wenn auch nicht sogleich, aber nach einiger Zeit einen Einfluß auf die Stellung des Auges ausüben. Kleine Veränderungen treten auch von einem zum anderen Tage ein. Aber alle diese Abweichungen sind gering und beeinträchtigen der Hauptsache nach nicht die Geltung des DONDERS'schen Gesetzes.

Die Hauptzüge des Gesetzes der Augendrehungen, welche allen Augen gemeinsam sind, lassen sich unter folgende Gesichtspunkte zusammenfassen.

Es ist unter den verschiedenen Augenstellungen eine herauszufinden von der Art, daß wenn von ihr aus der Blick gerade nach oben oder gerade nach unten, gerade nach rechts oder nach links gewendet wird, keine Raddrehung des Auges erfolgt. Diese Stellung nennen wir die Primärstellung

der Blicklinie. Wenn man also von der Primärstellung ausgeht, so bringt reine Erhebung oder Senkung des Auges ohne Seitenabweichung, oder reine Seitenabweichung ohne Erhebung und ohne Senkung keine Raddrehung hervor.

Die Lage der Blickebene, welche durch die Primärstellungen beider Blicklinien geht, nennen wir die Primärstellung der Blickebene.

In erhobener Stellung der Blickebene geben Seitenwendungen nach rechts Drehungen des Auges nach links und Seitenwendungen nach links Drehungen nach rechts.

In gesenkter Stellung der Blickebene dagegen geben Seitenwendungen nach rechts auch Drehungen nach rechts und Seitenwendungen nach links Drehungen nach links.

Oder: Wenn der Erhebungs- und Seitenwendungswinkel dasselbe Vorzeichen haben, ist die Drehung negativ, wenn jene ungleiches Vorzeichen haben, ist die Drehung positiv.

Bei gleicher Erhebung oder Senkung ist die Rotation um so stärker, je größer die seitliche Abweichung, und bei gleicher Seitenwendung um so stärker, je größer die Erhebung oder Senkung ist.

Um sich von den angegebenen Thatsachen zu überzeugen, benutzt man nach dem von RUETE zuerst gemachten Vorschlage am besten Nachbilder. Zu dem Ende stelle man sich der Wand eines Zimmers gegenüber auf, welche mit einer Tapete überzogen ist, die horizontale und verticale Linien erkennen läßt, ohne daß aber das Muster so scharf gezeichnet ist, daß man Schwierigkeit fände, Nachbilder auf ihm zu erkennen; am besten ist eine matte blafsgraue Grundfarbe. Dem Auge des Beobachters gerade gegenüber und in gleicher Höhe mit ihm spanne man ein horizontales schwarzes oder farbiges Band auf, zwei bis drei Fuß lang, welches stark gegen die Farbe der Tapete absticht. Um die Lage des Kopfes zu sichern, ist es vortheilhaft, den Hinterkopf fest anzulehnen, wobei man darauf zu achten hat, daß derselbe weder nach rechts noch nach links geneigt oder gedreht sei. Es muß vielmehr die Mittelebene des Kopfes vertical gehalten werden und senkrecht zur betrachteten Wand stehen. Ob die Mittelebene des Kopfes vertical sei, erkennt man leicht, wenn man die Augen so convergiren läßt, daß Doppelbilder des schwarzen Bandes entstehen; diese müssen in eine gerade Linie zusammenfallen. Man fixire nun eine kurze Zeit lang ganz fest die Mitte des Bandes, und wende dann, ohne den Kopf zu verrücken, plötzlich die Augen nach einer anderen Stelle der Wand hin. Man wird dort ein Nachbild des Bandes sehen, und durch Vergleichung dieses Bildes mit den horizontalen Linien der Tapete erkennen können, ob das Nachbild horizontal erscheint, oder nicht. Das Nachbild selbst ist entwickelt auf denjenigen Punkten der Netzhaut, die dem Netzhauthorizonte angehören, und bezeichnet bei den Bewegungen des Auges diejenigen Theile des Gesichtsfeldes, auf welche der Netzhauthorizont sich projectirt. Die Schnittlinie der

Blickebene mit der gegenüberliegenden Wand dagegen muß immer horizontal sein, wenn der Kopf des Beobachters die verlangte Stellung hat, so daß die Verbindungslinie der Drehpunkte beider Augen selbst horizontal und der Ebene der Wand parallel ist. Die horizontalen Linien der Tapete geben also die Projection der Blickebene auf die Tapete, und wie das Nachbild gegen diese Horizontallinien gedreht ist, so ist der Netzhauthorizont gegen die Blickebene gedreht.

Wir finden, daß wenn man bei richtig gewählter Stellung des Kopfes gerade nach oben und unten, oder gerade nach rechts und links sieht, das Nachbild des horizontalen Bandes mit den horizontalen Linien der Tapete zusammenfällt. Wenn man aber nach rechts und oben oder nach links und unten blickt, so ist es nach links gedreht, d. h. sein linkes Ende steht tiefer als das rechte, immer im Vergleich zu den Horizontallinien der Tapete, und wenn man nach links oben oder rechts unten blickt, ist das Nachbild umgekehrt etwas nach rechts gedreht, sein rechtes Ende steht tiefer als das linke.

Der Sinn dieser Drehungen ist genau derselbe für das rechte wie für das linke Auge, wovon man sich am leichtesten und vollkommensten überzeugt, wenn man beide Augen gleichzeitig öffnet, während man das Nachbild hervorbringt, dann die Richtung des Blicks ändert, und während man das Nachbild betrachtet, schnell hinter einander bald das rechte, bald das linke Auge mit der Hand verdeckt. Welches man auch verdecken möge, so behält das Nachbild bei den von mir untersuchten normalsichtigen Augen vollkommen dieselbe Stellung.

Wenn man das Band vertical ausspannt, und in derselben Weise das Nachbild des verticalen Bandes mit den Verticallinien der Tapete vergleicht, so erhält man scheinbar entgegengesetzte Drehungen. Wenn man nämlich nach rechts und oben sieht, erscheint das Nachbild gegen die Verticallinien der Tapete nicht nach links, sondern umgekehrt nach rechts gedreht. Daraus darf man aber nicht auf eine Drehung des Auges nach rechts schließen, weil in diesem Falle die verticalen Linien der Tapete nicht mit der Projection einer auf der Blickebene errichteten Normalen zusammenfallen, diese letztere 465 vielmehr in demselben Sinne, wie das Nachbild, nur noch stärker gedreht erscheinen würde.

Der ganze Gang der Erscheinung nach dem für normalsichtige Augen gültigen Gesetze ist in *Fig. 200* dargestellt worden. Es wird vorausgesetzt, daß das Auge sich in der Normale über a befinde in einer Entfernung gleich AB . Dann fallen die Nachbilder einer durch a gehenden horizontalen Linie, wenn sie auf einen andern Theil des Feldes projectirt werden, mit der Richtung der Curven b_1b_1 , b_2b_2 etc. zusammen; die einer senkrechten durch a gehenden Linie dagegen mit der Richtung der Curven cc , c_1c_1 , c_2c_2 etc. Die Curven sind für normale Augenbewegungen Hyperbeln.

Da nun, wenn man von der Primärstellung ausgeht und den Blick schief nach oben oder unten wendet, die Nachbilder verticaler Linien, verglichen

mit den Verticallinien der Wand, scheinbar die entgegengesetzte Drehung erleiden als die horizontalen Nachbilder im Vergleich mit horizontalen

Linien der Wand, so darf man sogleich vermuthen, daß zwischen horizontalen und verticalen Linien mitten inne für jede Augenbewegung eine Richtung des Nachbilds existiren wird, wobei es der Richtung seines

Objects parallel bleibt; und in der That ist das auch der Fall. Man findet nämlich, daß die Nachbilder schräger Linien, die man in der Primärlage fixirt hat, ihrem Object parallel bleiben, wenn man den Blick entweder in der Verlängerung der Objectlinie, oder von der

Primärlage ausgehend senkrecht zu dieser wandern läßt.

Es sei also in *Fig. 201* *o* der Punkt, wo die Blicklinie in der Primärstellung die Ebene der Zeichnung senkrecht schneidet; *aa* sei eine verticale, *bb* eine horizontale durch *o* gezogene Linie. Wird der Blick nach *p* gewendet, so erhalten ihre Nachbilder die Lagen *αα* und *ββ*, welche beide den Linien *aa*, beziehlich *bb* nicht parallel sind. Zieht man aber durch *o* die Linien *cc* und

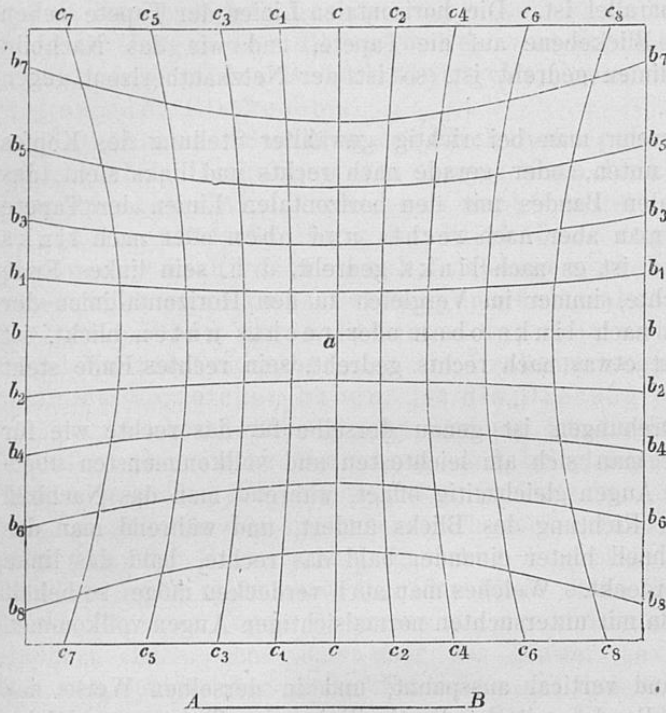


Fig. 200.

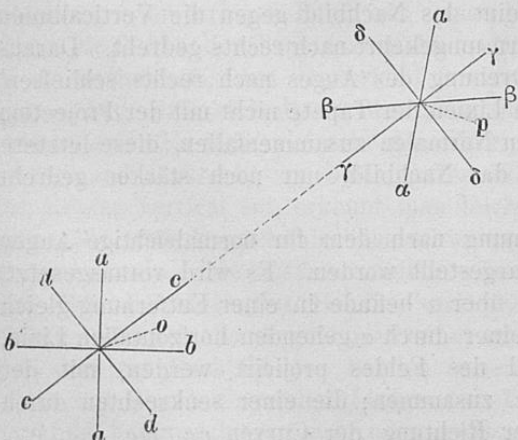


Fig. 201.

466 *dd*, von denen die erstere die Richtung der Verbindungslinie *op* hat, die zweite senkrecht darauf ist, so geben diese in *p* die Nachbilder *γγ* und *δδ*, welche ihren Objectlinien parallel sind.

Bei den von mir untersuchten Augen schien dieses Gesetz mit desto größerer Schärfe erfüllt zu sein, je weniger kurzsichtig sie waren.

In dem in *Fig. 201* angedeuteten Versuche ergibt also die Beobachtung, daß sich die Linien $\delta\delta$ und $\gamma\gamma$, wenn der Blick nach p gewendet ist, auf denselben Netzhauttheilen abbilden, auf denen sich dd und cc abbilden, wenn der Blick nach o gewendet ist. Fragt man nun, um was für eine Rotationsaxe der Augapfel gedreht werden müsse, um aus der ersten Lage in die zweite überzugehen, so ergibt sich leicht, daß die Axe parallel den Linien dd und $\delta\delta$ sein müsse, und daher senkrecht zu der durch op und den Drehpunkt gelegten Ebene. Denkt man sich diese letztere Ebene in fester Lage zum Augapfel, so wird ihre Lage nicht geändert, wenn sie mit dem Augapfel um eine zu ihr normal gerichtete Axe gedreht wird. Ihre Schnittlinie mit der Ebene der Zeichnung op bleibt deshalb bei solcher Bewegung ebenfalls ungeändert, und diese Schnittlinie, zu deren Theilen auch cc und $\gamma\gamma$ gehören, bildet sich dabei immer auf den gleichen Netzhauttheilen ab, wie es die Ergebnisse des Versuchs erfordern. Denkt man aber durch die Axe und die ihr parallele Linie dd eine Ebene gelegt, und diese um die Axe gedreht, so wird auch nach der Drehung die Schnittlinie $\delta\delta$ dieser Ebene und der Ebene der Zeichnung parallel der Axe und also auch parallel der Linie dd bleiben müssen. Denn wenn eine Ebene durch eine gerade Linie (Rotationsaxe) geht, welche einer andern Ebene (der Ebene der Zeichnung) parallel ist, so ist auch die Schnittlinie beider Ebenen der genannten Linie (Rotationsaxe) parallel.

Wir können also das Bewegungsgesetz parallel gerichteter normal-sichtiger Augen folgendermaßen aussprechen: Wenn die Blicklinie aus ihrer Primärstellung übergeführt wird in irgend eine andere Stellung, so ist die Raddrehung des Augapfels in dieser zweiten Stellung eine solche, als wäre er um eine feste Axe gedreht worden, die zur ersten und zweiten Richtung der Blicklinie senkrecht steht.

Dieses Gesetz der Augenbewegungen ist in dieser Weise zuerst von LISTING aufgestellt worden und wird deshalb nach ihm benannt.

Es ist dabei nicht nöthig, daß die Bewegung des Blicks aus der ersten in die zweite Richtung wirklich längs einer geraden Linie vor sich geht, oder daß der Augapfel wirklich um eine constant bleibende Rotationsaxe gedreht wird, sondern die Ueberführung aus der ersten in die zweite Stellung kann auf beliebigem Wege geschehen; nach dem Gesetze von DONDERS wird die endliche Stellung doch immer die gleiche sein, und die Richtigkeit von diesem DONDERS'schen Gesetze läßt sich wiederum in der Art erweisen, daß man die Ueberführung des Blicks absichtlich auf verschiedenen Wegen vornimmt und sich durch die Congruenz des Nachbildes $\gamma\gamma$ mit der Linie op von der Identität der schließlich eingetretenen Raddrehung des Auges überzeugt.

Doch ist dabei allerdings zu bemerken, daß im ersten Augenblicke, wo die Blicklinie nach ausgiebigen Bewegungen an dem neu gewählten Fixations-

punkte angekommen ist, zuweilen noch eine etwas abweichende Stellung des Nachbildes zu bemerken ist, die aber schon nach einer oder zwei Secunden in die normale übergeht.

Wenn man nach dem durch solche Versuche bestätigten Gesetze von LISTING die GröÙe des Rotationswinkels γ berechnet, ausgedrückt durch den Erhebungswinkel α , und die Seitenwendung β , so findet man folgende Gleichung:

$$- \text{tang. } \gamma = \frac{\sin \alpha \sin \beta}{\cos \alpha + \cos \beta}$$

oder für logarithmische Rechnung geeigneter

$$- \text{tang.} \left(\frac{\gamma}{2} \right) = \text{tang.} \left(\frac{\alpha}{2} \right) \text{tang.} \left(\frac{\beta}{2} \right).$$

In der folgenden Tabelle sind die Werthe des Drehungswinkels von 5 zu 5 Graden der beiden andern Winkel berechnet.

Seiten- wendung	Erhebungswinkel							
	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°
5°	0° 13'	0° 26'	0° 40'	0° 53'	1° 7'	1° 20'	1° 35'	1° 49'
10°	0° 26'	0° 53'	1° 19'	1° 46'	2° 13'	2° 41'	3° 10'	3° 39'
15°	0° 40'	1° 19'	1° 59'	2° 40'	3° 21'	4° 2'	4° 45'	5° 29'
20°	0° 53'	1° 46'	2° 40'	3° 34'	4° 29'	5° 25'	6° 22'	7° 21'
25°	1° 7'	2° 13'	3° 21'	4° 29'	5° 38'	6° 48'	8° 0'	9° 14'
30°	1° 21'	2° 41'	4° 2'	5° 25'	6° 48'	8° 13'	9° 39'	11° 8'
35°	1° 35'	3° 10'	4° 45'	6° 22'	8° 0'	9° 39'	11° 21'	13° 6'
40°	1° 49'	3° 39'	5° 29'	7° 21'	9° 14'	11° 8'	13° 6'	15° 5'

Für diejenigen Bewegungen des Blicks also, welche von der Primärlage anfangen, und in irgend eine andere Lage überführen, ist nach dem LISTING'SCHEN Gesetze die Drehungsaxe immer gelegen in einer Ebene, die zur Blicklinie senkrecht ist. Es gehe diese Ebene der Drehungsaxen durch

AA , *Fig. 202* normal zu OB , der Blicklinie. Eine zweite Ebene, \mathfrak{A} , welche in der Primärstellung der Auges mit der Ebene AA zusammenfällt, denke man sich durch den Augapfel gelegt und mit diesem fest verbunden. Wenn nun die Blicklinie OB in eine Secundärstellung OF gebracht ist, hat \mathfrak{A} eine andere Lage als AA , nämlich CC . Um von dieser ersten Secundärstellung in irgend welche andere Stellungen überzugehen, kann man das Auge nun wieder um feste Axen drehen, die auch alle in einer und derselben Ebene liegen, und zwar in derjenigen

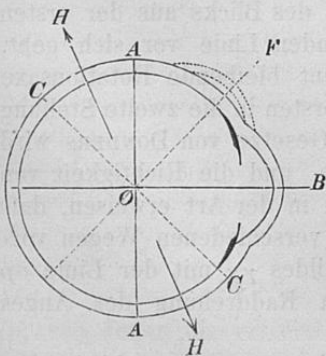


Fig. 202.

Ebene, welche den Winkel der Ebenen AA und CC halbt, die also die Ebene der Zeichnung rechtwinklig in der Linie HH schneidet. Es ist dies die Ebene der Drehungsaxen für die betreffende Secundärstellung der Blicklinie OF .

Endlich um von irgend einer Stellung a des Augapfels in eine andere Stellung b überzugehen, construirt man die Ebenen der Drehungsaxen für die beiden Stellungen a und b . Die Schnittlinie beider Ebenen ist die Axe, um welche man das Auge zu drehen hat, um es von a nach b überzuführen. Denn es ist evident, daß diese Axe beiden Ebenen angehören muß, da man dieselbe Bewegung auch von b nach a machen kann, und die betreffende Drehungsaxe sowohl den Bedingungen der von a als der von b ausgehenden Bewegungen genügen muß, d. h. in den beiden Blickpunkten zugehörigen Ebenen der Drehungsaxen liegen muß.

Bei den bisher geprüften normalsichtigen oder schwach kurzsichtigen Augen bewährte sich die Richtigkeit des LISTING'schen Gesetzes mit großer Genauigkeit für alle parallelen Stellungen beider Blicklinien. Die Methode der Nachbilder erlaubt bei guter Ausführung die Stellung des Augapfels bis auf etwa einen halben Winkelgrad genau zu bestimmen. Eine andere Methode, welche auf der Vergleichung der Bilder beider Augen beruht, und die zuerst von MEISSNER angewendet und später von VOLKMANN weiter ausgebildet ist, erlaubt noch genauere Bestimmungen bis auf etwa $\frac{1}{10}$ Grad herab zwar nicht für die Stellung jedes einzelnen Augapfels, aber doch für die Differenzen der Stellung beider Augen. Versuche nach dieser Methode, deren Ausführung unten näher beschrieben wird, zeigen für meine eigenen Augen in den äußersten peripherischen Stellungen nach oben und unten Abweichungen vom LISTING'schen Gesetz, die für jedes einzelne Auge nur neun Winkelminuten betragen. VOLKMANN fand für seine etwas kurzsichtigeren Augen Maximalabweichungen beim Blick schräg nach unten rechts und links bis zu 54 Minuten für beide Augen zusammen, was auf jedes einzelne etwa 27 Minuten ausmacht. Stärker kurzsichtige Augen, wie die von Hrn. Dr. BERTHOLD zeigten aber stärkere Abweichungen namentlich in den peripherischen Stellungen nach oben und unten, die wahrscheinlich mit mechanischen Hindernissen in der Bewegung des nach hinten verlängerten kurzsichtigen Augapfels zusammenhängen werden.

Die bisherigen Angaben beziehen sich auf parallele Stellungen beider Blicklinien. Merkliche Abweichungen davon, bei verschiedenen Individuen von verschiedener Größe, treten nun nach der Entdeckung von VOLKMANN ein, wenn die Blicklinien convergent gestellt werden zur Betrachtung eines nahen Gegenstandes. Bei VOLKMANN's eigenen Augen bringt Convergenz auf die Punkte einer in 30 Centimeter vor den Augen liegenden Ebene eine gleichmäßige Vermehrung der Divergenz der scheinbar verticalen Meridiane beider Augen von zwei Grad hervor, wenn man sie vergleicht mit der Divergenz, 469 welche die genannten Meridiane nach dem LISTING'schen Gesetze hätten haben sollen, unter Voraussetzung derselben Divergenz und derselben Primärlage, welche bei parallelen Augenstellungen gefunden waren. So weit also

der Einfluß der Convergenz sichtbar wird in der veränderten Differenz der Stellung beider Augen, könnte man für VOLKMANN's Augen sich vorstellen, daß dieselben in Convergenz eine tiefere Primärstellung haben, oder daß die Drehung des Auges in der Primärstellung, welche wir als Nullpunkt der Raddrehungen betrachten, verändert ist. Diese Veränderung nimmt zu mit steigender Convergenz.

Für meine eigenen Augen ist diese Drehung durch Convergenz in den mittleren Theilen des Gesichtsfeldes viel geringer als bei VOLKMANN, nämlich nur $\frac{1}{9}$ der Größe, die sie bei jenem hat, so daß sie mir bei den Nachbildversuchen verborgen blieb; sie geschieht übrigens in demselben Sinne. Dagegen fand ich bei Nachbildversuchen, daß in den peripherischen seitlichen Richtungen des Blicks durch Convergenz Abweichungen des Nachbildes von 2° bis $2\frac{1}{2}^{\circ}$ eintreten auch in dem Sinne, als wäre die Primärstellung meiner Augen für die Convergenzstellungen ein wenig tiefer zu nehmen, als für die Parallelstellungen. In *Fig. 203* bezeichnen die kurzen dicken Striche die

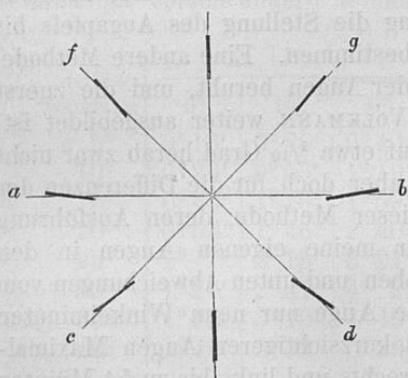


Fig. 203.

Lage der Nachbilder für convergente Augenstellungen, aber mit übertriebener Größe der Abweichung. Die Objecte jener Nachbilder hatten im Centrum gelegen und waren den ausgezogenen Radien des Gesichtsfeldes parallel gewesen, so daß ihre Nachbilder bei parallelen Gesichtslinien auch in den genannten Radien liegen geblieben wären. Bei *cd* sind die Abweichungen am deutlichsten, bei *fg* klein und unsicher.

Herr DASTICH, dem die übrigen entsprechenden Beobachtungen sehr gut gelangen, konnte gar keinen Einfluß der

Convergenz bei seinen Augen finden. Ueber die Größe dieses Einflusses bei verschiedenen Individuen sind also noch weitere Untersuchungen nöthig.

Ueberhaupt muß ich bemerken, daß für meine Augen sich eine gewisse Veränderlichkeit der Drehungen herausstellt. Die Primärstellung liegt an einem Tage ein wenig höher, am andern tiefer, und verändert sich sogar, während ich eine Reihe von Versuchen ausführe. Namentlich für die peripherischen Richtungen des Blicks, die mit einiger Anstrengung verbunden sind, finde ich zuweilen merklich verschiedene Stellungen in unmittelbar auf einander folgenden Versuchen und trotz möglichster Gleichartigkeit ihrer Ausführung. Man muß also von dem Auge nicht ganz dieselbe Präcision der Bewegung erwarten, wie von einem physikalischen Apparate, wenn auch normale Augen unter gewöhnlichen Bedingungen ziemlich genau dem DONDERSchen und LISTING'schen Gesetze folgen.

470 Endlich ist noch der Antheil zu bestimmen, den die einzelnen Augenmuskeln an den einzelnen normalen Bewegungen des Auges zu nehmen

haben. Wie oben (S. 43) schon bemerkt ist, drehen der innere und äußere gerade Augenmuskel, für sich wirkend, das Auge um eine verticale Axe; die Axe für die Drehung durch den unteren und oberen geraden Muskel liegt nach den Bestimmungen von RÜETE horizontal, mit dem inneren Ende nach vorn sehend, unter einem Winkel von etwa 70° mit der Blicklinie; die Axe für den oberen und unteren schiefen Muskel liegt ebenfalls horizontal, das äußere Ende nach vorn sehend, unter einem Winkel von etwa 35° mit der Blicklinie. Drehungen um die verticale Axe des inneren und äußeren geraden Muskels entsprechen dem Gesetze von LISTING, diese Muskeln können also auch isolirt angewendet werden. Dagegen würden Drehungen um die beiden andern Axen dem LISTING'schen Gesetze nicht entsprechen. Um für eine Bewegung nach oben eine horizontal von rechts nach links gerichtete Drehungsaxe zu erhalten, muß man eine Drehung durch den *Rectus superior* mit einer durch den *Obliquus inferior* verbinden; für eine Drehung nach unten den *Rectus inferior* mit dem *Obliquus superior*. Es ist ein bekanntes mechanisches Gesetz, daß man für kleine Drehungen die Drehungsaxen nach dem Gesetz des Parallelogramms der Kräfte zusammensetzen kann, wobei die Größe der Drehung die Intensität der Kraft repräsentirt, und alle Drehungen, die vom Mittelpunkt aus gesehen nach rechts herum (wie der Zeiger einer Uhr) vor sich gehen, also positiv, die entgegengesetzten als negativ gerechnet werden. In Fig. 204 ist ein horizontaler Querschnitt des Auges gezeichnet mit den Drehungsaxen, wobei die positiv zu rechnenden Enden der Axen mit den Anfangsbuchstaben der betreffenden Muskeln, *Obliquus superior* und *inferior*, *Rectus superior* und *inferior* bezeichnet sind. Außerdem ist die nach dem LISTING'schen Gesetz geforderte Horizontalaxe OU für die Bewegungen nach oben und unten angegeben; der Buchstabe O bezeichnet das positive Ende der Axe für die Drehung nach oben, U für die nach unten. Die Zeichnung entspricht dem linken Auge von oben gesehen, oder dem rechten von unten.

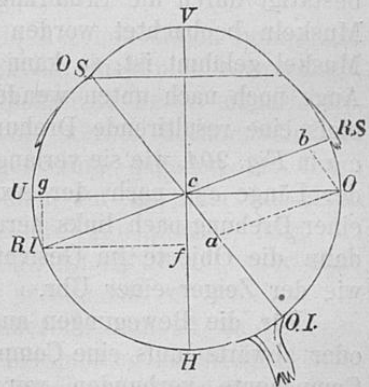


Fig. 204.

Wenn nun das Linienstück cb der Größe der Drehung durch den *Rectus superior* proportional ist, ca der durch den *Obliquus inferior*, so bezeichnet cO , als Diagonale des Parallelogramms $cbOa$ die Drehung der gemeinsamen Drehungsaxe und ist der Größe dieser Drehung proportional. Es erhellt aus dieser Figur, daß bei derjenigen Lage, welche die Axen bei geradeaus gerichtetem Auge haben, die resultirende Drehungsaxe UO der Axe der betreffenden beiden geraden Augenmuskeln näher liegt, als derjenigen der schiefen Muskeln. Dadurch wird denn die Seite bc des Parallelogramms größer als ca , das heißt der betreffende gerade Muskel muß eine stärkere

Anstrengung machen, als der mitwirkende schiefe Muskel. Wenn sich der 471 Augapfel aber nach innen dreht, nähert sich die der veränderten Sehstellung zugehörige Drehungsaxe UO mehr der Axe der schiefen Muskeln, so daß bei Convergenz der Augen die letzteren verhältnißmäßig mehr in Anspruch genommen werden müssen als bei Parallelismus der Blicklinien.

Es ist hierbei zu bemerken, daß die Augenmuskeln alle einen ziemlich breiten Ansatz am Augapfel haben, wobei ihre Fasern sich sogar etwas fächerförmig ausbreiten. Dies hat zur Folge, daß selbst wenn der Augapfel sich ziemlich bedeutend aus seiner Primärstellung gedreht hat, doch die Drehungsaxen für die einzelnen Muskeln ihre Lage im Raume nicht erheblich verändern. Nehmen wir als Beispiel den *Rectus superior* und *inferior*, welche sich oberhalb der Hornhaut, etwa 7 Millimeter von deren Rande entfernt, inseriren (*Fig. 1* bei m und n S. 5), so spannen sich, wenn das Auge nach innen gedreht ist, bei der Verkürzung des Muskels vorwiegend die Fasern der Sehne, welche nach dem äußeren Rande der Hornhaut hin gerichtet sind, weil diese am meisten verlängert sind. Man kann sich davon an Präparaten des Augapfels mit seinen Muskeln leicht überzeugen. Wenn sich das Auge nach außen dreht, wirken dagegen hauptsächlich die inneren Stränge beider Sehnen. So bleibt die Richtung des Muskelzuges dieselbe trotz der veränderten Stellung des Auges.

Diese aus der Anordnung der Muskeln gezogenen Schlüsse werden bestätigt durch die Erfahrungen, welche bei krankhafter Lähmung einzelner Muskeln beobachtet worden sind. Wenn zum Beispiel der obere schiefe Muskel gelähmt ist, so kann der innere gerade Muskel, allein wirkend, das Auge noch nach unten wenden. Aber Drehung um die Axe RI giebt nicht bloß eine resultirende Drehung nach der Axe CU , entsprechend der Länge cg in *Fig. 204*, wie sie verlangt wird, sondern auch eine kleinere, entsprechend der Länge cf , nach der Axe CH , welche also einer negativen Drehung, einer Drehung nach links herum um die Blicklinie, entspricht. Dabei erleiden dann die Objecte im Gesichtsfelde eine Scheindrehung nach rechts herum, wie der Zeiger einer Uhr.

Für die Bewegungen aus der Primärstellung in schräger Richtung auf- oder abwärts muß eine Componente nach der Axe UO mit einer verticalen Componente verbunden werden. Um nach innen und oben zu drehen, brauchen wir also den *R. internus*, der nach innen dreht um die verticale Axe, zugleich mit dem *R. superior* und *Obl. inferior*, die vereinigt nach oben drehen um die Axe UO .

Mittelst des Schemas in der *Fig. 204* lassen sich diese Combinationen leicht übersehen, sonst sind für die bequemere Uebersicht derselben drehbare Modelle des Auges construirt, Ophthalmotrope, deren Beschreibung unten folgen wird.

Abgesehen von den bisher besprochenen Beschränkungen der Bewegung jedes einzelnen Auges, sind nun auch die Bewegungen unserer beiden Augen in gewisser Weise sowohl von einander abhängig, als auch die Accommodation

von der Augenstellung abhängig ist. Unter den gewöhnlichen Verhältnissen des normalen Sehens richten wir immer beide Blicklinien auf einen im Raume vor uns liegenden reellen Punkt, welcher nah oder weit entfernt sein kann. In diesem Punkte, dem Blickpunkte, schneiden sich beide Blicklinien. Trotzdem jedes Auge einen ganz selbständigen Muskelmechanismus hat, und also die Möglichkeit besitzt, jede Art der Bewegung ganz unabhängig von dem anderen Auge auszuführen, so haben wir doch nur gelernt, diejenigen Bewegungen wirklich auszuführen, welche nöthig sind, um einen reellen Punkt deutlich und einfach mit beiden Augen zu sehen. So können also beide Augen gleichzeitig gehoben werden, um einen hoch gelegenen Blickpunkt zu fixiren; sie können auch beide gleichzeitig gesenkt werden, um ein tief gelegenes Object anzublicken. Wir sind aber ohne weitere Hilfsmittel nicht im Stande, willkürlich das eine nach oben, das andere nach unten zu richten, wobei sich die Blicklinien in keinem reellen Blickpunkt schneiden würden. 472

Wir können ferner beide Blicklinien nach rechts oder beide nach links wenden, um beziehlich einen rechts oder links gelegenen Gegenstand zu betrachten. Wir können sie auch convergent machen, indem wir die rechte nach links, die linke nach rechts wenden, wenn wir einen nahen Fixationspunkt wählen. Aber Jemand, der sich nicht schon besonders darauf eingeübt hat, kann die Blicklinien nicht divergent machen, indem er die rechte nach rechts, die linke nach links wendet.

Endlich folgt auch bei normalen Augen die Accommodation immer der Entfernung desjenigen Gegenstandes, auf welchen die Blicklinien convergiren. Bei parallelen Blicklinien sind die Augen für unendliche Ferne eingerichtet, bei convergirenden für die Nähe, und sind desto stärker accommodirt, je stärker die Convergenz ist. Kurzsichtige Augen sind dagegen für ihren Fernpunkt accommodirt, so lange die Blicklinien auf ihn oder auf einen noch entfernten Punkt convergiren. Für nähere Blickpunkte folgt die Accommodation der Convergenz. Sehr kurzsichtige Augen können aber ohne Brille oft gar nicht mehr binocular fixiren und accommodiren.

Ogleich nun der Zwang, beide Augen übereinstimmend zu bewegen und auch die Accommodation damit in Uebereinstimmung zu bringen, beim normalen Sehen so unausweichlich erscheint, daß ältere Physiologen diese Bewegungen in die Klasse der unwillkürlich eintretenden Mitbewegungen rechneten, so läßt sich doch zeigen, daß die Gesetzmäßigkeit dieser Verbindungen nur auf Einübung beruht. Man muß dabei im Allgemeinen beachten¹, daß die Intention unseres Willens bei allen willkürlichen Bewegungen sich immer nur auf die Erreichung eines direct und deutlich wahrnehmbaren äußeren Erfolges bezieht. Bei den Bewegungen unserer Extremitäten können wir allerdings durch den Gesichtssinn die Stellung wahrnehmen, in welche das Glied durch eine gewisse Willensaction versetzt

¹ S. oben § 26. S. 587.

wird, und deshalb ist für sie und für alle durch das Gesicht und Getast wahrnehmbaren Theile des Körpers die Stellung des zu bewegenden Theils der nächste bewusste Zweck der darauf gerichteten Willensactionen. Bei allen nicht sichtbaren und nicht fühlbaren Theilen des Körpers ist es aber nicht die Stellung und Bewegung, sondern erst der durch diese zu erreichende Erfolg, den wir durch eine willkürliche Action zu erreichen wissen. So gebrauchen wir unseren Kehlkopf und die Theile unseres Mundes mit einer bewundernswürdigen Sicherheit und Geschicklichkeit, um die zartesten Veränderungen der Tonhöhe und Klangfarbe unserer Gesangs- und Sprachlaute hervorzubringen, und doch weiß der Laie gar nicht, und der Physiologe unvollkommen genug, was für Bewegungen wir eigentlich dabei ausführen. Hier ⁴⁷³ bezieht sich also die Willensintention nur auf den hervorzubringenden Ton, nicht auf die Bewegung der einzelnen Theile des Kehlkopfs, und wir haben gelernt, alle diejenigen Bewegungen des Kehlkopfs auszuführen, die für einen solchen Zweck nöthig sind, aber keine anderen.

Aehnlich ist es mit den Augen; wir können ihre Bewegungen nicht selbst sehen, aufer wenn wir vor einem Spiegel stehen; wir können sie auch nur sehr unvollkommen fühlen. Aber wir nehmen sehr deutlich wahr die Verschiebung der optischen Bilder auf der Netzhaut, oder vielmehr das entsprechende Wandern des Blickpunktes im Gesichtsfelde, wenn wir Bewegungen mit den Augen machen. Dies ist also auch die Wirkung, auf die unsere Willensintention gerichtet ist, und welche wir willkürlich zu erreichen wissen. Wenn wir wünschen, daß Jemand, der noch nicht über seine Augenbewegungen zu reflectiren gelernt hat, die Augen nach rechts wenden soll, so müssen wir ihm nicht sagen: „Wende dein Auge nach rechts“, sondern „Sieh jenen rechts gelegenen Gegenstand an“. Und selbst der Geübte beherrscht seine Augenbewegungen sicherer, wenn er entsprechende Gegenstände zur Fixation wählt, als wenn er eine bestimmte Stellung der Augen ohne solche Fixation einhalten will. Ich kenne einen ausgezeichneten und in der Optik höchst erfahrenen und geübten Physiker, dem es unmöglich ist, seine Gesichtslinien parallel zu stellen, wenn er nicht sehr ferne Objecte vor sich hat, oder Doppelbilder aus einander zu treiben, wenn er nicht ein passendes Fixationsobject dazu hat, und auch dann sie schwer auseinanderhält, sobald er auf sie zu achten anfängt. Ich führe dies Beispiel an, weil es zeigt, welches der Zustand des natürlichen Auges ist, mit dem noch keine physiologischen Experimente angestellt sind, und welches noch nicht gelernt hat, über seine Stellungen zu reflectiren, trotzdem daneben vollständige Einsicht in die Theorie des Sehens vorhanden ist.

Unsere Willensintention beim Gebrauche der Augen ist also darauf gerichtet, nach einander einzelne Punkte des Gesichtsfeldes möglichst deutlich mit beiden Augen zu sehen; dies wird erreicht, wenn wir das betreffende Object in beiden Augen auf dem Centrum der Netzhautgrube abbilden, und wir haben dem entsprechend gelernt, unsere beiden Augen so zu stellen und so zu accommodiren, daß dies geschieht. Andere Bewegungen mit den

Augen auszuführen, welchen kein solcher Zweck des möglichst deutlichen Sehens zu Grunde liegt, auf den unser Willen sich richten könnte, haben wir nicht gelernt.

Es scheint mir damit zusammenzuhängen, daß wir leichter parallele, ja selbst divergente Stellungen der Blicklinien hervorbringen beim Sehen nach oben, wo sich der Horizont und der Himmel darzubieten pflegt, convergente leichter beim Sehen nach unten, wo der Fußboden und die Objecte, welche man in den Händen hält, zu betrachten sind.

Indem man aber nun die Art der Willensanstrengung kennen lernt, welche für Erreichung der verschiedenen Augenstellungen als solcher dient, kann Jemand, der viel physiologisch-optische Versuche anstellt, allmählig auch lernen, zunächst solche normale Augenstellungen hervorzubringen, für welche zur Zeit kein Fixationsobject vorhanden ist, indem man gleichsam nach einem 474 imaginären Fixationsobjecte blickt. Wenn man sich also zum Beispiel nahe vor dem Nasenrücken ein solches Object vorstellt, oder gleichsam nachsucht, ob keines dort vorhanden sei, kann man so starke Convergenz hervorbringen, daß die Augen wie die eines Schielenden aussehen. Und umgekehrt kann man nahe Gegenstände mit parallelen Gesichtslinien betrachten, wenn man durch sie hin in die Ferne zu sehen sucht, oder wenn man, wie das Volk sagt, nach ihnen hingewendet „in das Blaue stiert“, das heißt die Art von Blick annimmt, welche einzutreten pflegt, wenn man in Gedanken versunken gar nicht auf die Gegenstände achtet, die man vor sich hat, wobei denn die Accommodationsanstrengung nachläßt, ebenso die entsprechende Convergenzstellung, und die Augen ihre Fernstellung annehmen.

Geht man von Convergenzstellungen zur parallelen Stellung der Blicklinien über, ohne ein bestimmtes einzelnes Object zu fixiren, und übertreibt man die zu diesem Uebergange nöthige Anstrengung, so bringt man auch schwache Divergenzstellungen heraus.

Die Fähigkeit, jeder Zeit und ohne entsprechendes Object Convergenzstellungen und Parallelstellungen der Blicklinien hervorbringen zu können, ist für Jeden, der sich mit physiologisch-optischen Untersuchungen beschäftigen will, von großer Wichtigkeit, und muß geübt werden.

Dann aber kann man nun auch, freilich zunächst nur in geringerem Grade, diejenigen Combinationen von Augenstellungen hervorbringen, welche beim gewöhnlichen Sehen nicht vorkommen. Um es zu thun, braucht man nur die Augen unter solche Bedingungen zu versetzen, daß nur durch Abweichung von den normalen Stellungen einfache und deutliche Bilder herzustellen sind.

Was zunächst die Verbindung zwischen Convergenz und Accommodation betrifft, so wird diese sogleich verändert, wenn man eine Brille aufsetzt. Normalsichtige Augen zum Beispiel, welche eine Brille mit schwachen Concavgläsern vorsetzen, sind gezwungen, um entfernte Gegenstände deutlich zu sehen, bei parallel gerichteten Blicklinien doch für die Nähe zu accommodiren. Ist die Brille nicht zu stark, so ist es auch sogleich möglich, die Augen

dieser neuen Aufgabe anzupassen, obgleich die Augen dabei das Gefühl ungewöhnlicher Anstrengung haben und bald ermüden. Daher denn überhaupt der Gebrauch einer Brille in der ersten Zeit, wo man sie zu tragen beginnt, immer mit einer merklichen Anstrengung verbunden ist, und umgekehrt Leute, die lange Zeit eine Brille getragen haben, wenn sie sie abnehmen, einen angestregten und gleichsam scheuen Blick zeigen, selbst für solche Gegenstände, für welche sie accommodiren können. Es ist dies eine allgemeine Erfahrung, daß wir gut eingeübte Gruppenbewegungen mit viel geringerer Anstrengung ausführen, als ungeübte. Man denke daran, welche Anstrengung ein ungeübter Schwimmer oder ein ungeübter Schlittschuhläufer aufwenden, um fort zu kommen, und wie leicht dasselbe nachher geht, wenn sie sich geübt haben. Gerade dasselbe geschieht bei den Augen, wenn wir ihre Bewegungen in ungewöhnlicher Weise combiniren sollen.

475 Eine veränderte Verbindung von Convergenz und Accommodation kann man auch erreichen, wenn man stereoskopische Bilder betrachtet und deren Entfernung von einander willkürlich verändert. Davon werden wir unten ausführlicher handeln.

Divergenz der Augen läßt sich ebenfalls bei der Betrachtung stereoskopischer Bilder erzielen, wenn man sie immer weiter von einander entfernt und dabei ihre Vereinigung zu einem Bilde zu erhalten sucht. Ich kann auf diese Weise eine Divergenz meiner Blicklinien bis zu 8 Grad hervorbringen. Dasselbe läßt sich auch erreichen, wenn man zwei gleiche schwach brechende Glasprismen von 6 bis 8 Grad brechendem Winkel so vor beide Augen nimmt, daß die brechenden Winkel (die dünnsten Stellen der Prismen) nach unten sehen, und durch sie nach entfernten Gegenständen blickt. Dazu braucht man bei der angegebenen Haltung der Prismen parallele Gesichtslinien, die aber etwas mehr nach unten gerichtet sind, als ohne die Prismen. Wenn man nun die Prismen langsam dreht, so daß ihre brechenden Winkel sich beide nach außen zu wenden anfangen, so kann man doch noch die vorher gesehenen Gegenstände fortfahren zu fixiren und einfach zu sehen. Man muß dazu aber jetzt die Augen divergent stellen. Man kann dasselbe auch mit einem Prisma erreichen, wenn man dasselbe mit dem brechenden Winkel nach außen vor ein Auge hält, und zuerst nahe Gegenstände betrachtet, welche unter diesen Umständen noch convergente oder parallele Blicklinien erfordern, und dann allmählig zu entfernteren Objecten übergeht, welche Divergenz verlangen.

Endlich haben sowohl DONDERS als ich selbst beobachtet, daß man verschiedene Erhebung beider Augen erzielen kann, wenn man ein schwach brechendes Prisma vor ein Auge nimmt, und den brechenden Winkel zuerst nach innen richtet. Blickt man so nach entfernten Gegenständen, so muß man die Gesichtslinien etwas convergent stellen, was ohne Schwierigkeit zu erreichen ist. Jetzt drehe man das Prisma ganz langsam so, daß der brechende Winkel allmählig immer weiter nach unten rückt, und suche die Fixation des Objects zu erhalten. Es gelingt dies nach einiger Uebung. In

diesem Falle sieht das freie Auge den Gegenstand direct mit gerade auf ihn hingerichteter Blicklinie; das vom Prisma bedeckte Auge dagegen muß sich merklich nach unten wenden, um den Gegenstand zu fixiren. Hat man eine solche Stellung der Augen erreicht, so nehme man das Prisma plötzlich fort, man sieht dann das fixirte Object in unter einander stehenden Doppelbildern zum Zeichen, daß die beiden Blicklinien nicht gleich hoch gerichtet sind. Auch in der Richtung von oben nach unten bringe ich Abweichungen von 6° ohne Schwierigkeit zu Stande.

Aus diesen Thatsachen geht zweifellos hervor, daß die Verbindung, welche zwischen den Bewegungen beider Augen besteht, nicht durch einen anatomischen Mechanismus erzwungen, sondern vielmehr durch den bloßen Einfluß unseres Willens veränderlich ist, und daß wir nur in der Bildung unserer Willensintentionen beschränkt sind, insofern diese nur zu dem Zweck, einfach und deutlich zu sehen, von uns eingeübt sind.

Ich habe schon früher auf andere Erfahrungen aufmerksam gemacht, die dasselbe beweisen, und mir auch von andern Beobachtern bestätigt worden sind. Wären die Augenbewegungen mittels eines anatomisch vorgebildeten Mechanismus coordinirt, so wäre zu erwarten, daß dieser desto ⁴⁷⁶ widerstandsloser wirken würde im Zustande der Schläfrigkeit, wo die Energie des Willens gebrochen ist. Ich beobachte indessen regelmäfsig, daß wenn ich Abends beim Lesen schläfrig werde, oder nach einem langen Diner aus Rücksicht auf die Gesellschaft meine Augen offen zu halten strebe, ich Doppelbilder der vor mir liegenden Objecte sehe, welche bald nur zu große Divergenz, bald verschiedene Höhe, bald abnorme Raddrehungen der Augen anzeigen. So wie ich durch dergleichen ungewöhnliche Doppelbilder aufmerksam gemacht mich ermuntere, gehen die Doppelbilder meist schnell wieder zusammen, und wenn ich sie dann willkürlich auseinander zu treiben suche, kommen nur die gewöhnlichen neben einander stehenden Doppelbilder zu Stande, die von zu großer oder zu geringer Convergenz für das Object herrühren.¹

Dieselbe Art von Zwang nun, welche die Bewegungen beider Augen mit einander und mit der beiderseitigen Accommodation verbindet, besteht auch betreffs der Raddrehung, die zu einer bestimmten Lage des Gesichtspunktes gehört, und es war von vorn herein zu vermuthen, daß auch die Raddrehung nur deshalb unserm Willen entzogen sei, weil wir durch eine etwaige Veränderung derselben keinen bestimmten praktischen und wahrnehmbaren Erfolg erzielen können. Es ist mir jetzt gelungen, die Richtigkeit dieser Annahme direct zu erweisen. Man kann nämlich auch die Raddrehung

¹ Herr E. HERING hat in seinen Beiträgen zur Physiologie, 4. Heft, S. 274, die Richtigkeit dieser Beobachtung bezweifelt. Er hat offenbar die Erscheinung, auf die es ankommt, nicht gesehen. Die zuletzt oben angeführte Beobachtung beweist, daß ich nicht in den Irrthum verfallen bin, den er mir zuschreibt, und der von Jemandem, welcher auch nur ein wenig Uebung in der Beobachtung von Doppelbildern hat, schwerlich begangen werden kann, daß ich nämlich wegen schiefer Kopfhaltung neben einander stehende Bilder für über einander stehend gehalten hätte.

der Augen ganz erheblich verändern, wenn man dieselben unter Umstände bringt, wo sie nur bei veränderter Raddrehung einfach sehen können.

Zu dem Ende benutze ich zwei gleichschenkelige und rechtwinkelige Glasprismen. Wenn man durch ein solches Prisma parallel der Hypotenusenfläche hindurchsieht, wie *Fig. 205* anzeigt, so wird der Lichtstrahl ab , wo er durch die Cathetenfläche des Prisma in dieses eintritt, gebrochen und gegen die Hypotenusenfläche hin abgelenkt, von dieser bei c unter gleichem Winkel reflectirt, und tritt dann bei d wieder aus dem Prisma aus. Wenn b und d gleich weit von der Hypotenusenfläche entfernt sind, so geht der Strahl ab nach dem Austritt aus dem Prisma in derselben Richtung fort, in der er eingetreten ist. Strahlen dagegen, welche wie ab' und ab'' nicht parallel der Hypotenusenfläche auffallen, und nach der Brechung von dieser (bei c' und c'') reflectirt werden, treten nachher aus dem Prisma so aus, daß der eintretende und austretende Strahl ab' und $d'e'$, oder ab'' und $d''e''$ gleiche Winkel mit der Hypotenusenfläche bilden. Ein solches Prisma wirkt also unter diesen Umständen wie ein Spiegel, aber mit dem Vortheile, daß die Richtung, in der der mittlere Theil des Spiegelbildes erscheint, unverändert bleibt. Indem der Beobachter in der Richtung ab durch das Prisma hindurchsieht, erblickt er die jenseits liegenden Gegenstände, aber so, daß Rechts in Links verkehrt ist, wenn die Hypotenusenfläche des Prisma senkrecht steht, oder Oben in Unten, wenn sie horizontal liegt.

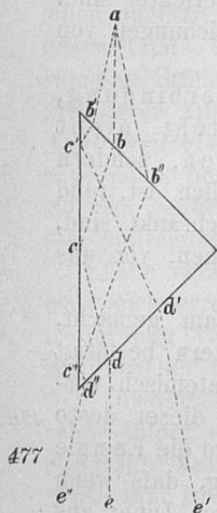


Fig. 205.

Wenn man nun den vom ersten Prisma reflectirten Strahl de in derselben Weise durch ein zweites Prisma gehen läßt, und die Hypotenusenflächen beider parallel liegen, so wird die Umkehrung der Bilder, welche das erste Prisma erzeugt hatte, durch das zweite, was noch ein Mal in derselben Weise umkehrt, wieder aufgehoben. Alle Gegenstände erscheinen durch zwei solche Prismen gesehen in ganz unveränderter Lage und Stellung. Macht man aber die Hypotenusenflächen der beiden Prismen nicht ganz parallel, sondern dreht das eine Prisma ein wenig um eine dem Strahl ae parallele Axe, wie in nebenstehender *Fig. 206*, so wird die Umkehrung, welche das erste Prisma hervorbrachte, durch das zweite nicht vollständig wieder aufgehoben, sondern es bleibt eine kleine Drehung der gesehenen Gegenstände um den ungebrochenen Strahl ae als Axe zurück, welche doppelt so groß erscheint, als die wirkliche Drehung des einen Prisma gegen das andere ist. Uebrigens können beide Prismen zusammen genommen, wenn sie nur gegen einander festgestellt sind, beliebig um ihren gemeinsamen Axenstrahl

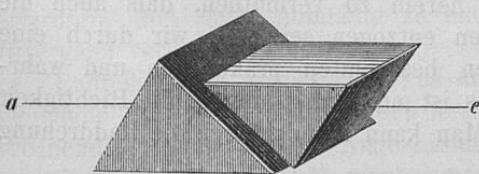


Fig. 206.

gedreht werden, ohne daß die scheinbare Lage der dadurch gesehenen Gegenstände eine Veränderung erlitte.

Wenn man nun eine solche Combination zweier Prismen, welche eine scheinbare Raddrehung der Objecte um die Gesichtslinie von etwa 5 Grad hervorbringt, vor ein Auge nimmt und mit beiden Augen gleichzeitig entferntere Objecte betrachtet, die eine große Mannigfaltigkeit verschiedener deutlich erkennbarer Theile zeigen, so sieht man anfangs, wie zu erwarten ist, gekreuzte Doppelbilder¹ der Objecte, die sehr auffallend und leicht zu bemerken sind. Wenn man aber fortfährt, die Objecte zu betrachten, und dabei den Blick vielfach über die einzelnen ausgezeichneten Punkte derselben herumwandern läßt, welche man alle nach einander einfach sehen kann, so schwinden die Doppelbilder endlich, und man sieht vollständig einfache Bilder gerade so gut, wie beim gewöhnlichen Sehen. Wenn man nun einige Minuten lang in dieser Weise einfach gesehen hat, dann das Prismensystem fortnimmt und mit freien Augen dieselbe Objecte betrachtet, so erblickt man jetzt im ersten Moment gekreuzte Doppelbilder, die sich aber schnell wieder vereinigen.

Den Verdacht, daß bei diesem Versuche die Doppelbilder nicht vereinigt, sondern nur übersehen werden, kann man erstlich dadurch beseitigen, daß man in einiger Entfernung vor die betrachteten Objecte ein senkrecht Stäbchen hält, welches in Doppelbildern erscheint. Diese haben dann nur die gewöhnliche schwache Neigung zu einander, die Neigung der scheinbar 478 verticalen Meridiane. Daraus folgt also, daß die horizontalen Netzhautmeridiane hinter den Prismen so eingestellt werden, daß sie entsprechende gleiche Bilder empfangen.

Ferner habe ich auch zur Controlle, während ich durch die Prismen sah, Nachbilder eines horizontalen Streifens in beiden Augen entwickelt, und diese, nachdem ich die Prismen entfernt hatte, auf eine weiße Fläche geworfen. Im ersten Augenblicke erschienen dann die Nachbilder beider Augen verschieden geneigt gegen ein und dieselbe objective Linie des Gesichtsfeldes. Sobald aber die Augen in ihre natürliche Stellung zurückgegangen waren, erschienen beide Nachbilder in gleicher Lage im Gesichtsfelde. War die objective Linie, von der die Nachbilder genommen wurden, horizontal, und das rechte Auge mit einem Doppelprisma bewaffnet, welches 5° nach links drehte, so erschienen die Nachbilder beider Augen, nachdem die Prismen entfernt und beide Augen in ihre normale Stellung übergegangen waren, etwas nach links gedreht, woraus folgte, daß beim Sehen durch das Prisma das linke Auge etwas nach rechts gedreht gewesen war, während das rechte Auge, der scheinbaren Drehung des Gesichtsfeldes folgend, nach links gedreht war. Die Nachbilder beider Augen aber zeigten sich hierbei auf correspondirenden Stellen entwickelt, und daraus folgt, daß auch correspondirende Stellen beider Netzhäute das Urbild aufgenommen hatten. Aus diesen

¹ Ich verstehe hier unter gekreuzten Doppelbildern solche, die eine Raddrehung gegen einander erlitten haben.

Versuchen folgt also, daß auch die Raddrehungen des Auges unter besonderen Umständen verändert werden können, wenn nämlich abnorme Drehungen dieser Art gebraucht werden, um die Objecte eines ausgedehnten und an Einzelheiten reichen Gesichtsfeldes in ungekreuzten Doppelbildern zu sehen. Die äußerste Drehung des Gesichtsfeldes, welcher ich bei diesen Versuchen mit den Augen folgen konnte, betrug 7 Grad. Dabei sind nun wahrscheinlich beide Augen um gleich viel, aber in entgegengesetztem Sinne gedreht worden, jedes also etwa um $3\frac{1}{2}$ Grad. Die abweichende Stellung der Augen wird dabei nicht unmittelbar durch den bloßen Anblick der Divergenz der Doppelbilder hervorgebracht, sondern erst durch eine Reihe correspondirender Bewegungen beider Augen, indem diese das Gesichtsfeld nach allen Richtungen durchlaufen, so daß sie fortdauernd die Einheit des Fixationspunktes erhalten.

Diese Erfahrungen an den Augenmuskeln sind von großer Wichtigkeit für die Lehre von der Willkürlichkeit der Bewegungen überhaupt. Gewöhnlich stellt man sich vor, daß die Fähigkeit, eine bestimmte willkürliche Bewegung auszuführen, gleich von vorn herein durch die Natur gegeben sei, und nicht weiter gelernt zu werden brauche, aufer etwa in den Fällen, wo wie beim Gehen, Stelzenlaufen, Schlittschuhlaufen, Schwimmen ein gewisses künstliches Gleichgewicht bei der Bewegung zu erhalten oder die Wirkung anderer Naturkräfte dabei mit zu beachten sei. Es müssen aber auch für andere Bewegungen die dazu nöthigen Willensintentionen erst gelernt werden. Selbst unter den Bewegungen der am freiesten gebrauchten Glieder unseres Körpers, wie zum Beispiel der oberen Extremitäten, findet man leicht Fälle der Art, welche erst eine besondere Einübung erfordern, ehe man sie ausführen kann.

479 So kann man zum Beispiel den horizontal ausgestreckten Arm im Schultergelenk um seine Längsaxe rollen, ebenso Radius und Hand um die Ulna. Beide Rollungen werden durch Muskelgruppen ausgeführt, die ganz unabhängig von einander sind. Wir sind aber nur geübt, beide Rollungen in gleichem Sinne auszuführen, weil unsere Absicht unter gewöhnlichen Umständen nur dahin geht, die Hand in die eine oder andere Rotationsstellung zu bringen. Nun kann man die Aufgabe stellen, beide Rollungen in entgegengesetztem Sinne zu machen, so daß der Ellbogen sich dreht, die Hand aber stehen bleibt. Es ist dies eine Art der Bewegung, die keinerlei praktischen Zweck hat, und deshalb gewöhnlich niemals ausgeführt wird. Auch habe ich bisher noch Niemand gefunden, der dies auf die erste Aufforderung hätte thun können. Und doch ist diese Bewegung ebenso gut zu lernen, wie die abnormen Augenbewegungen. Man braucht nur mit der Hand einen festen Gegenstand zu fassen, und den Ellenbogen zu drehen, dann den Griff der Hand allmählig zu lockern, und dieselbe Bewegung zu machen, bis man die Hand ganz frei lassen kann. Bei diesem Beispiele finden wir also eine ganz ähnliche Beschränkung der Willkürlichkeit in der Combination der Bewegungen, welche anfangs unüberwindlich scheint, und doch durch zweckmäßig geleitete Einübung überwunden werden kann.

Wir haben jetzt zu untersuchen, welche Ursachen bei der Einübung der

Augenbewegungen darauf hinwirken können, daß nur gewisse bestimmte Raddrehungen mit den verschiedenen Richtungen beider Gesichtslinien verbunden werden.

Was zuerst das Gesetz von DONDERS betrifft, wonach der Raddrehungswinkel nur abhängt von der zeitweiligen Richtung beider Gesichtslinien, so ist leicht einzusehen, daß die Einhaltung dieses Gesetzes eine wesentliche Erleichterung und Sicherung für die Lösung der Aufgabe gewähren muß, trotz der Augenbewegungen und trotz der Verschiebungen der Netzhautbilder, auf der Netzhaut ruhende Objecte als ruhend anzuerkennen. Wir lassen unseren Blick fortdauernd im Gesichtsfelde wandern, weil wir nur so nach einander die einzelnen Theile des Gesichtsfeldes möglichst deutlich sehen können. Daß wir sie mit beiden Augen möglichst deutlich sehen, wird zunächst dadurch erreicht, daß wir beide Gesichtslinien auf den zeitweilig betrachteten Punkt hinrichten und die Augen für ihn accommodiren. Dabei könnten die beiden Augen noch in beliebiger Weise um die Blicklinie als Axe gedreht werden, ohne daß wir aufhören würden, mit beiden Augen den betreffenden Punkt zu fixiren. Wenn wir nun in dieser Weise ein mit ruhenden Objecten angefülltes Gesichtsfeld vor uns haben, so wechseln mit der Wanderung des Blicks auch fortdauernd die Empfindungen in den einzelnen Nervenfasern der Netzhaut. Wenn wir zur Betrachtung eines schon früher fixirten Objectes *A* zurückkehren, und nun eine andere Raddrehung der Augen brauchen wollten, als das erste Mal, so würde zwar der Eindruck des fixirten Punktes auf die beiden Netzhautgruben derselbe sein wie früher, aber die Netzhautbilder der Nachbarschaft würden eine andere Lage auf der Netzhaut haben, die rings um die Netzhautgrube liegenden Nervenfasern würden ganz andere Lichteindrücke erhalten, als das erste Mal; und um zu constatiren, daß das Object trotz dieses veränderten Systems von Empfindungen doch dasselbe geblieben ist, müßten wir das Auge ganz in die alte Stellung 480 auch in Bezug auf die Raddrehung zurückführen, um zu prüfen, ob dann bei Herstellung der früheren Stellung auch der alte Eindruck wieder erhalten werde.

Da nun für das Erkennen der Objecte in der Regel beim natürlichen Sehen dadurch nichts gewonnen wird, daß wir sie mit veränderten Raddrehungen ansehen, und nur die Rückkehr in eine unverändert bleibende bestimmte Stellung nöthig ist, um das ruhende Object als ruhend wiederzuerkennen, so werden wir von Anfang an uns gewöhnen müssen, für bestimmte Richtungen der Gesichtslinien auch immer wieder bestimmte Grade der Raddrehung zu gebrauchen.

Bei hinreichender Einübung auf die Kenntniß der Veränderungen, welche die Empfindungen der Netzhaut bei Drehung des Auges um die Blicklinie erleiden, würde es zweifelsohne auch möglich werden, die unveränderte Lage der Objecte trotz des veränderten Netzhautbildes richtig zu beurtheilen. Aber es würde dies eine neue und große Complication in der Einübung unseres Auges für die Gesichtswahrnehmungen sein, welche gar keinen

Vortheil bringen würde, und der wir deshalb von vornherein aus dem Wege gehen.¹

Durch dieses Princip, welches ich das Princip der leichtesten Orientirung für die Ruhestellungen des Auges genannt habe, wird zunächst verlangt, daß jeder bestimmten Richtung beider Gesichtslinien bestimmte Werthe der Raddrehung beider Augen zugehören, aber es wird noch nicht bestimmt, welche Werthe zu nehmen seien.

Bisher haben wir nur den Fall untersucht, wo dasselbe Object zwei Mal nach einander direct angeblickt wurde; nun ist noch zu fordern, daß ein ruhendes Object als ruhend erkannt werde, wenn es einmal direct und dann indirect betrachtet wird.

Wir wollen die Untersuchung zunächst für ein einziges, isolirt gedachtes, Auge führen, und später zusehen, welche Veränderungen bei der Verbindung mit einem zweiten Auge einzutreten haben. Wir beschränken uns ferner auf die Annahme unendlich kleiner Verschiebungen des Auges; denn wenn die Anerkennung der Ruhe des Objects erhalten bleibt während der unendlich kleinen Verschiebungen, die während der unendlich kleinen Zeittheilchen einer ausgedehnteren Bewegung stattfinden, so ist diese Anerkennung auch am Ende der Bewegung erhalten.

Wir wollen eine Anzahl von Netzhautpunkten mit a, b, c, d u. s. w. bezeichnen, und es möge a das Centrum der Netzhautgrube sein. Die Punkte des Bildes, welche auf diese Netzhautpunkte fallen, bezeichnen wir mit A, B, C, D . Der Punkt A des Bildes ist also fixirt; der Punkt B sei von A , also auch b von a nur um eine verschwindend kleine Größe entfernt. Jetzt 481 gehe der Blick vom Punkte A des Bildes über auf den Punkt B , so daß jetzt B auf dem Centrum a der Netzhaut abgebildet sei. Dabei werden die Punkte A, C, D u. s. w. des Bildes auf andere Netzhautpunkte fallen, die wir mit α, γ, δ u. s. w. bezeichnen wollen. Während also die frühere Empfindung des Punktes b übergeht auf a , geht die Empfindung, welche a hatte, über auf α , die von c auf γ , die von d auf δ u. s. w. Wenn nun dasselbe System von Empfindungsänderungen immer wieder eintritt, so oft wir die Empfindung, welche b hatte, durch einen Willensimpuls, der Bewegung zur Folge hat, übergehen lassen auf a , so werden wir lernen, diesen Inbegriff von Aenderungen als sinnlichen Ausdruck einer Augenbewegung zu betrachten, dem keine Aenderung in den Objecten entspricht. Die Probe dafür wird sein, daß wir wiederum in jedem beliebigen Zeitmomente A fixiren können, und dann das erste System von Empfindungen unverändert wiederfinden. Es kommt aber eben darauf an, daß wir, auch ohne diese Probe anzustellen,

¹ Ich habe früher (Archiv für Ophthalmologie, IX, 2, 156—157) noch hinzugefügt, daß auch die Lage der Objecte im Raume richtig beurtheilt werden sollte. Dagegen hat Herr E. HERRING den Einwand gemacht, daß die Beurtheilung der Lage durch die Raddrehungen der Augen überhaupt gestört werde. In gewissen, aber freilich viel beschränkteren Fällen, als Herr HERRING meint, ist das richtig, wie der nächste Abschnitt lehren wird, und deshalb habe ich die Orientirung über die wirkliche Lage der Objecte in der oben gegebenen Ableitung aus dem Spiele gelassen, und mich auf das Wesentliche beschränkt, daß ruhende Objecte als ruhend anerkannt werden.

während wir B fixiren, lernen, daß die beobachtete Aenderung keine Aenderung der Objecte ist.

Damit nun jedes Mal, wenn die Fixation übergeht auf den dem Netzhautpunkte b correspondirenden Punkt des Gesichtsfeldes, auch gleichzeitig α das bisherige Bild von a , γ das von c , δ das von d u. s. w. empfangen, ist es nöthig, daß das Auge diese Bewegung immer durch Drehung um eine und dieselbe, in Beziehung zum Augapfel festgelegene Axe ausführe, welche wir mit \mathfrak{B} bezeichnen wollen.

Nun ist b nur einer der dem Punkte a benachbarten Netzhautpunkte; es möge c ein anderer von a unendlich wenig entfernter und in anderer Richtung als b gelegener Punkt sein, so wird eine zweite im Augapfel festgelegene Drehungsaxe \mathfrak{C} existiren müssen, um den Blick in der Richtung ac zu verschieben, wenn diese Verschiebung immer mit der gleichen Verschiebung des Netzhautbildes auf der Netzhaut, also mit demselben Systeme von Empfindungsänderungen begleitet sein soll.

Jeden anderen Punkt F des Gesichtsfeldes in der Nähe des Fixationspunktes A werden wir mit dem Blicke alsdann erreichen können durch eine Drehung von gewisser sehr kleiner GröÙe um die Axe \mathfrak{B} und durch eine zweite Drehung von gewisser sehr kleiner GröÙe um die Axe \mathfrak{C} . Da man nun bekanntlich bei unendlich kleinen Drehungen die Drehungsaxen nach dem Principe des Kräfteparallelogramms zusammensetzen kann, und die Diagonale der Axen \mathfrak{B} und \mathfrak{C} immer in der durch \mathfrak{B} und \mathfrak{C} gelegten Ebene liegen muß, so folgt, daß das Auge sich beim Blicke nach F in dieselbe Stellung bringen läßt bei einer einfachen Drehung um eine einzige in der Ebene $\mathfrak{B}\mathfrak{C}$ gelegene Drehungsaxe, wie bei der Drehung erst um \mathfrak{B} , dann um \mathfrak{C} . Und da es bei der Richtung des Blickes nach F nach dem Gesetze von DONDEES, welches wir eben zu begründen versucht haben, immer dieselbe Richtung haben muß, auf welchem Wege es auch dahin geführt sein mag, so folgt, daß der Uebergang des Blickes von A nach F oder irgend einem andern von A unendlich wenig entfernten Punkte auszuführen ist durch Drehung des Augapfels um eine Drehungsaxe, die immer in ein und derselben, relativ zum Augapfel fest liegenden Ebene $\mathfrak{B}\mathfrak{C}$ gelegen ist. Dies würde die Bedingung dafür sein, daß jede unendlich kleine Verschiebung des Blicks in allen Fällen, wo sie eintritt, immer von einem constanten Systeme von Aenderungen der Empfindung in den Sehnervenfasern begleitet ist, welches schließlich als der sinnliche Ausdruck der zu jener Verschiebung des Blicks gehörigen Augenbewegung kennen gelernt wird.¹

¹ Herr E. HERING hat auf S. 274—283 seiner Beiträge zur Physiologie diese Ableitung als unhaltbar zu erweisen gesucht. Das Mißverständnis des ersten Princip, welches oben erwähnt wurde, wobei er eine Nebensache zur Hauptsache gemacht hat, wirkt hier weiter. Er erklärt das zweite Princip für überflüssig neben dem ersten. Das ist es nicht. Denn das erste Princip bezweckt nur, daß ruhende Objecte als ruhend erkannt werden, so oft die Blicklinie in dieselbe Richtung zurückkehrt, das zweite, daß sie auch bei verschiedener Richtung der Blicklinie als ruhend erkannt werden. Herr HERING zeigt weiter, daß wenn man das zweite Princip ohne das erste gebraucht, man Unsinn daraus ableiten kann. Ich habe aber das zweite Princip nie anders, denn als Ergänzung des ersten angewendet, auch ist es selbstverständlich, daß dies nicht geht. Ich hoffe in der oben gegebenen Darstellung meine Ideen genauer ausgedrückt und das genannte Mißverständnis beseitigt zu haben.

Dafs die Drehungsaxen für irgend welche sehr kleine Verschiebungen des Auges, die von einer bestimmten festen Stellung ausgehen, alle in einer und derselben Ebene liegen müssen, folgt aus der eben gegebenen Betrachtung für alle Theile des Blickfeldes, wenn die Raddrehung eine continuirliche, nicht sprungweise sich ändernde Function der Richtung der Blicklinie sein soll. Das Princip der leichtesten Orientirung würde fordern, dafs diese Ebene, wo möglich, relativ zum Augapfel fest wäre.

Es wird natürlich am leichtesten sein, die Veränderungen der Empfindung bei der Bewegung des Augapfels als Ausdruck einer solchen Bewegung und nicht einer Bewegung der Objecte zu erkennen, wenn der Uebergang des Blicks auf den dem Netzhautpunkte b entsprechenden Punkt des Gesichtsfeldes immer mit derselben Verrückung des Netzhautbildes auf der Netzhaut begleitet wäre, unabhängig davon, welche Anfangslage der Augapfel hat. Es würde eine viel complicirtere Einübung in dem Gebrauche des Auges verlangen, wenn die Objecte immer als ruhend erkannt werden sollten, trotzdem die genannte Verschiebung des Netzhautbildes beim Ausgange von verschiedenen Ausgangspunkten sich als verschieden erweisen sollte. Für unmöglich freilich würden wir eine Einübung der Art nicht von vorn herein erklären können. Die Erfahrung lehrt aber, wie wir sehen werden, dafs sie nicht besteht.

Die hier aufgestellte Bedingung für die leichteste Orientirung beim indirecten Sehen ist nämlich vom menschlichen Auge nicht vollständig erfüllt und kann auch, wie die analytische Behandlung des Problems zeigt, welche ich in der ersten Auflage dieses Buches gegeben habe,¹ nicht vollständig erfüllt werden, ausgenommen für ein Feld, dessen Ausdehnungen gegen den Radius der Kugel verschwindend klein sind. Es ist schon oben angeführt worden, dafs nach dem LISTING'schen Gesetze die Ebenen der Drehungsaxen bei verschiedenen Stellungen der Blicklinie auch verschiedene Lagen im Auge haben. Davon hängen nun gewisse Gesichtstäuschungen ab, die am deutlichsten zu beobachten sind an sehr entfernten Objecten, von deren wirklicher Lage man keine Erfahrungen hat, namentlich an den Gestirnen.²

Man suche sich am gestirnten Himmel drei hinreichend helle und weit von einander entfernte Sterne, die nahehin in einer geraden horizontalen Linie stehen. Wir wollen voraussetzen, sie schienen in einer geraden Linie zu stehen, wenn man das Gesicht so weit erhebt, dafs die Primärstellung der Gesichtslinien auf den mittleren Stern gerichtet ist. Dann werden dieselben Sterne eine nach unten concave Linie zu bilden scheinen, wenn man ihre Reihe mit dem Blicke durchläuft, während das Gesicht weniger gehoben wird, als vorher, die Augen im Kopfe also mehr; und sie werden wie eine

¹ H. v. HELMHOLTZ, *Handbuch der Physiol. Optik*, 1. Aufl. S. 497–516. — Ferner: H. v. HELMHOLTZ, Über die normalen Bewegungen des menschlichen Auges. *Gräfe's Arch.* 9 (2), S. 153. — In etwas erweiterter Ausführung abgedruckt in meinen *Wissenschaftlichen Abhandlungen* Bd. 2, S. 396.

² Bei dem früher von mir beschriebenen entsprechenden Versuche hat die Convergenz der Augen einen eigenthümlichen Einfluß, der im nächsten Abschnitte zu besprechen ist.

nach unten convexe Linie erscheinen, wenn das Gesicht mehr erhoben wird als früher und die Augen im Kopfe also gesenkt werden müssen, um nach den drei Sternen zu sehen. Der Grund dieser Täuschungen ist in den Raddrehungen des Auges zu suchen. Blickt man nach dem rechten Ende der Sternreihe, so sind bei gehobenem Blicke die Netzhauthorizonte gegen die Visirlinie so gedreht, daß ihre rechte Seite gehoben ist. Das rechte Ende der Sternlinie erscheint dann gesenkt; eben so das linke, wenn man nach dem links gelegenen Sterne blickt, die ganze Linie also als concav nach unten; umgekehrt bei kinnwärts gewendetem Blick.

Oder man vergleiche die Neigung, welche eine Reihe von Sternen, wie zum Beispiel die drei Sterne im Schwanz des großen Bären, gegen den Horizont zu haben scheinen, indem man das Gesicht so wendet, dass die Sterne bald mit nach rechts oben, bald mit nach links oben gehobenen Augen betrachtet werden. Man wird finden, daß bei ersterer Stellung das obere Ende dieser Sternreihe sich scheinbar mehr nach links, im zweiten Falle mehr nach rechts, also immer gegen die Medianebene des Kopfes hin, neigt.

Es handelt sich bei diesen Beispielen nicht um Bestimmung einer absoluten Richtung der Sternreihen im Raume, als senkrecht oder horizontal, da eine solche bei der unbestimmten Form des imaginären Himmelsgewölbes selbst nie eine ganz bestimmte sein kann. Es handelt sich nur darum die Uebereinstimmung oder Nichtübereinstimmung in der Richtung des angeschauten Bildes bei verschiedener Blickrichtung zu constatiren, und es zeigt sich bei diesen Versuchen, daß wir bei stark peripherischen Stellungen der Augen abweichende Urtheile über die Lage der Gesichtsobjecte im Gesichtsfelde oder auch über die Form des Gesichtsfeldes fällen. Da nun, wie gesagt, in einem ausgedehnten Felde solche Raddrehungen der Augen, die dergleichen Inconsequenzen hervorrufen, nicht ganz vermieden werden können, so kann nur gefordert werden, daß die Raddrehungen des Auges bei verschiedenen Stellungen der Gesichtslinie so gewählt werden, daß die Summe aller Fehler in der Orientirung, die aus den Raddrehungen des Auges herfließen, möglichst klein werde.

Die vollkommene Erfüllung des zweiten Principis würde fordern, daß bei allen Stellungen der Blicklinie die Ebene der Drehungsaxen immer dieselbe Lage im Augapfel hätte. Es würde dann nie eine Componente der Drehung vorkommen, deren Axe die Normale zu jener Ebene der Drehungsaxen wäre, welche Normale ich die atrope Linie des Auges zu nennen vorgeschlagen habe. Jede Drehung um diese atrope Linie, deren Lage im Auge zunächst noch unbestimmt bleibt, würde als ein Fehler zu betrachten sein. Die Forderung des zweiten Principis würde also so formulirt werden können, daß die Summe dieser Fehlerquadrate für alle vorkommenden unendlich kleinen Bewegungen des Auges ein Minimum werde. Die Quadrate der Fehler müssen hier aus denselben Gründen, wie bei den Fehlerausgleichungen nach der Methode der kleinsten Quadrate genommen werden.

484

Das Resultat der analytischen Behandlung dieses Problems, ist folgendes: Damit die Summe der Fehler am kleinsten werde, muß die atrope Linie für jede Form des Feldes mit der Blicklinie zusammenfallen; die Vertheilung der Raddrehungen aber hängt im Allgemeinen von der Form des Feldes ab. In einem kreisförmigen Blickfelde würde das LISTING'sche Gesetz den Bedingungen der Aufgabe am vollkommensten entsprechen, und zwar mit der Primärstellung im Centrum des kreisförmigen Feldes. In nicht genau, aber annähernd kreisförmigen Feldern würden gegen den Rand hin sich Abweichungen vom LISTING'schen Gesetze zeigen müssen, deren Größe aber durch den Umstand noch verringert werden kann, daß solche peripherische Stellen vom Blicke seltener durchlaufen werden, und wir, wie es scheint, auch diejenigen Bewegungsrichtungen des Auges zu vermeiden suchen, die dem Rande des Blickfelds parallel gehen und Scheinbewegungen der Objecte hervorbringen würden.

Es zeigt sich also hierbei, daß das LISTING'sche Gesetz der Augenbewegungen das vortheilhafteste für die Orientirung ist, zunächst für ein einzelnes Auge und für ein kreisförmiges Blickfeld.

Nun sehen wir aber mit zwei Augen, welche bald parallel, bald convergirend gestellt werden. Das Princip der leichtesten Orientirung für Ruhestellungen fordert nur, daß die Raddrehungen der Augen dieselben seien, sobald dieselben Stellungen beider Augen wieder eintreten, und in der That finden wir kleine Abweichungen der Raddrehung bei Convergenzstellungen von denen bei Parallelstellungen. Es werden aber beim normalen Sehen Parallelstellungen in der Regel nur in denjenigen Theilen des Gesichtsfeldes vorkommen, welche sehr weit entfernte Objecte darzubieten pflegen; das sind die oberen Theile des Feldes.

Im unteren Theile des Blickfeldes finden sich fast ausschliesslich nahe Gegenstände vor; der entfernteste von ihnen ist der Fußboden. Das gemeinsame Blickfeld meiner beiden Augen bei paralleler Stellung habe ich in

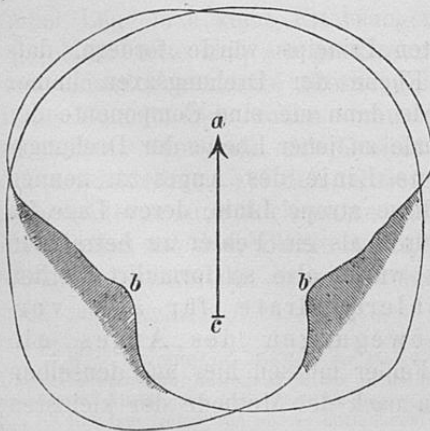


Fig. 207.

Fig. 207 gezeichnet; *a* ist die Primärstellung des fernsehenden Auges, die Länge des Pfeils, *ac* bezeichnet die entsprechende Entfernung des Auges von der Tafel, auf die das Blickfeld projicirt ist; die Augen befinden sich dabei in Richtung des in *a* errichteten Lothes. Nach unten hin ist das Sehfeld jedes Auges auf der innern Seite eingengt durch die hervortretende Nase, *bb* der Figur; was vom Nasenrücken noch fixirt werden kann, ist durch Schattirung angedeutet. Dieser untere Theil, welcher von den Doppelbildern der Nase theilweis zugedeckt ist und

der zwischen diesen Doppelbildern liegt, kann für parallele Augenstellungen fast gar nicht gebraucht werden, auch sind dieselben hier entschieden schwerer herzustellen, als im oberen Theile des Feldes. Wir können also etwa zwischen *bb* der Figur die Grenze ziehen für das Blickfeld der parallelen Gesichtslinien, dann bleibt für sie ein nahehin kreisförmiges Feld übrig, und ich finde hier in der That das LISTING'sche Gesetz gültig, und die Primärstellung *a* in der Mitte dieses Feldes. Übrigens sind die beiden Felder meiner Augen nicht ganz symmetrisch; mein linkes Auge kann weiter nach unten und aufsen sehen als das rechte.

Bei Convergenzstellungen bekommen die Augen zuerst eben wegen der Convergenz eine Richtung nach innen, und zweitens überwiegend nach unten. Im oberen Theil des Blickfeldes kommen verhältnißmäßsig sehr selten nahe Gegenstände vor, die wir zu betrachten haben, auch sind wir nicht im Stande, die Convergenz dort so weit zu treiben, wie beim Blick nach unten. Daher sind für Convergenzstellungen Abweichungen von dem Bewegungsgesetze der Parallelstellungen in dem Sinne zu erwarten, als ob die Primärstellung für sie tiefer und mehr nach innen liegt, als für die Parallelstellungen; von dieser Art sind in der That die Abweichungen in der oben in *Fig. 203* gegebenen Uebersicht. Die Stärke dieser Abweichungen wird dann wohl von der gewohnheitsmäßigen Häufigkeit der Convergenzstellungen und ihrer Stärke abhängen müssen, und bei kurzsichtigen Augen, welche hauptsächlich in Convergenz beobachten, werden sich die Eigenthümlichkeiten solcher Convergenzstellungen auch auf die verhältnißmäßsig seltner gebrauchten Fernstellungen übertragen können.

Bei dem citirten Versuche, das Gesetz der Augenbewegungen aus den Bedürfnissen des Wahrnehmens herzuleiten, mußte natürlich abstrahirt werden von aller Kenntniß und Schätzung der Längen und Winkel des scheinbaren Gesichtsfeldes, ja selbst von der Kenntniß der Anordnung der Netzhautpunkte auf der Netzhaut, weil diese Kenntnisse, wenn man sie nicht als angeboren ansieht, erst durch die Bewegungen des Auges gewonnen werden können. In Wirklichkeit wird beides sich wohl neben einander und gleichzeitig entwickeln müssen, und es soll deshalb die gegebene Ableitung des Drehungsgesetzes nicht als eine genaue Beschreibung des factischen Entwicklungsganges dieses Gesetzes während der ersten Kindheit angesehen werden. Vorläufig kann die empiristische Theorie der Gesichtswahrnehmungen in dieser Beziehung weiter nichts leisten, als nachweisen, daß in den Gesichtswahrnehmungen und bei den Bewegungen des Auges nichts vorkommt, was nicht durch Erfahrung und zweckmäßige Einübung unter dem Bestreben, die Objecte der Aufsenwelt möglichst genau und sicher zu erkennen, gewonnen werden könnte. Dabei wird natürlich der Gang dieser Einübung und Erfahrung methodischer und mehr in seine einzelnen Momente zerlegt dargestellt werden müssen, als er in Wirklichkeit in dem bunten Gedränge zufälliger Sinneseindrücke meistentheils vor sich gehen mag.

A. FICK und WUNDT haben als regelndes Princip für die Augen-

486 bewegungen hingestellt, dafs diejenige Raddrehung gewählt werde, bei welcher die gewünschte Richtung der Blicklinie mit der geringsten Muskelanstrengung erreicht werden kann. Ueber die Durchführung dieses Principis wird unten das Nähere angegeben werden. Wahrscheinlich ist dasselbe thatsächlich erfüllt bei den wirklich vorhandenen normalen Augenbewegungen. Indessen glaubte ich mich nicht bei diesem Principe als dem letzten beruhigen zu dürfen, weil willkürliche Anstrengung nachweisbar diejenigen Stellungen des Augapfels herbeiführen kann, welche den Zwecken des Sehens am besten entsprechen, und die Muskeln im Allgemeinen bildsam genug sind, dafs diejenigen, von denen man die gröfsere Anstrengung verlangt, auch bald die stärkeren werden. Indessen ist wohl nicht zu leugnen, dafs wenn der Augenmuskelapparat vieler Generationen hinter einander sich den Bedürfnissen der Individuen angepaßt hat und sich seine Anordnung auf die Nachkommen vererbt, für die factische Herbeiführung der zweckmäfsigsten Raddrehungen des Auges der Umstand, dafs sie die leichtesten sind, auferordentlich günstig einwirken mufs. Die oben angeführten Versuche zeigen aber, dafs die leichtesten Augenbewegungen für die Dauer dann nicht gewählt werden, wenn sie nicht auch gleichzeitig die vortheilhaftesten für das Sehen sind.

Aehnliche Gesetze wie für die Bewegungen der Augen gelten auch für die des Kopfes. Es hat schon AUBERT bemerkt, wenn man den Kopf plötzlich nach einer Seite neigt, während man einen festen Punkt einer geraden verticalen oder horizontalen Linie fixirt, so dafs ihr Bild auf der Netzhaut eine Drehung erleidet, dafs dann entweder bei der Bewegung des Kopfes eine scheinbare Drehung jener Linie eintritt, oder man wenigstens eine gewisse Unsicherheit fühlt, zu entscheiden, ob eine Drehung eingetreten sei oder nicht.

Die gewöhnlichen Bewegungen des Kopfes geschehen übrigens nach demselben Princip, wie die der Augen. Das Hinterhauptsgelenk besteht aus zwei Gelenken, dem zwischen Hinterhauptsbein und dem ersten Halswirbel oder Atlas, und dem Gelenke zwischen dem Atlas und dem zweiten Halswirbel. Das erste läfst eine Drehung um eine horizontal von rechts nach links gehende Axe, und in geringer Ausdehnung auch eine Drehung um eine horizontal von vorn nach hinten gehende Axe zu; das zweite genannte Gelenk hat nur eine verticale Drehungsaxe, Beide Gelenke zusammen können also mäfsige Drehungen um alle beliebig gelegenen Axen zulassen. Dazu kommt dann noch die Beweglichkeit der Halswirbelsäule. Wenn man die Augen weit nach rechts oder links wenden will, dreht sich der Kopf um eine senkrechte Axe im unteren Gelenke; wenn der Blick gerade nach oben oder unten gewendet wird, dreht sich der Kopf um die horizontal von rechts nach links gehende Drehungsaxe der Gelenkköpfe des Hinterhauptbeins; wenn er aber schräg nach rechts und oben gekehrt wird, so dreht er sich, wie das Auge, um eine von oben rechts nach unten links gehende Axe, so dafs die rechte Seite des Kopfes höher zu stehen kommt, als die linke. Wenn der Blick dagegen nach unten rechts sich wendet, kommt die rechte

Seite des Kopfes tiefer zu stehen. Es sind dies also Drehungen derselben Art, wie sie das Auge ausführt, wenn auch mit größerer Freiheit veränderlich, als die des Auges.

Allgemeine geometrische Betrachtung der Drehungen. Man denke sich einen gewöhnlichen Erdglobus, der mit seiner Polaxe drehbar in einem messingenen Ringe befestigt ist; dieser Meridianring möge selbst in Einschnitten des hölzernen Gestells verschoben und endlich das Gestell auf einem horizontalen Tische stehend gedreht werden können, wobei es sich um die Lothlinie als Axe dreht. Eine solche Befestigungsweise reicht hin, um den Globus in alle möglichen Lagen zu versetzen. Der Globus möge den Augapfel darstellen und die Pollinie möge der Blicklinie entsprechen. 487

Im Anfange möge die Pollinie senkrecht stehen, und der erste Meridian des Globus, der von Ferro, in der Ebene des Ringes stehen. Die verticalen Coordinaten (also der Blicklinie in ihrer Anfangsstellung parallel) nenne ich x , die Ebene des ersten Meridians und des Meridianringes sei die Ebene der xy , die y Axe also horizontal in der Ebene des Ringes und die z Axe senkrecht darauf. Alle diese Axen sollen durch den Mittelpunkt der Kugel gehen. Da es ganz willkürlich ist, wie wir im Auge die y und z Axe legen, so wollen wir annehmen, die atrope Linie liege in ihrer Anfangslage in der y Ebene. Es vereinfacht sich dadurch die Rechnung sehr merklich, ohne daß die Allgemeinheit derselben beeinträchtigt wird. In dem Globus, der den Augapfel darstellen soll, würde also die atrope Linie irgend wo im Meridian von Ferro liegen.

Wir denken uns nun vier rechtwinkelige Coordinatensysteme, welche alle in der Anfangslage der Kugel mit einander zusammenfallen. Das erste derselben nennen wir xyz , es sei absolut fest im Raume. Das zweite nennen wir $x_1y_1z_1$, es sei beweglich zugleich mit dem Gestell des Globus und mit diesem Gestelle fest verbunden; das dritte nennen wir $x_2y_2z_2$, es sei fest verbunden mit dem messingenen Meridianringe; das vierte endlich nennen wir $\xi v \zeta$, es sei fest mit der Kugel verbunden.

Wenn das Gestell auf dem Tische gedreht wird, so verschiebt sich das Coordinatensystem der $x_1y_1z_1$ gegen das der xyz ; da aber die x Axe Drehungsaxe ist, so bleibt die x_1 Axe zusammenfallend mit der x Axe, und die y_1z_1 Ebene mit der yz Ebene. Folglich ist auch nach der Drehung die Entfernung x_1 eines jeden beliebigen Punktes von der y_1z_1 Ebene ebenso groß wie seine Entfernung x von der yz Ebene. Es sei in *Fig. 208* die Ebene des Papiers die Ebene der yz und y_1z_1 ; es sei OA die Axe der y , OH die der z , OD die der y_1 , OE die der z_1 ; C sei die Projection des Punktes, dessen Coordinaten gesucht werden. Man falle von C die Lothe CA , CB , CD , CE beziehlich auf die vier Coordinataxen, und endlich noch vom Punkte E die Lothe EG und EH auf OA und OB , deren Schnittpunkt wir mit K bezeichnen, so ist

$$\begin{aligned} OA &= CB = y & OD &= CE = y_1 \\ OB &= AC = z & OE &= CD = z_1. \end{aligned}$$

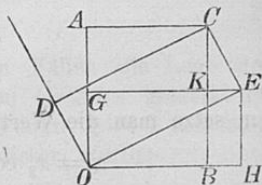


Fig. 208.

Den Winkel EOH , um den das System der $x_1y_1z_1$ gegen das der xyz gedreht ist, nennen wir \mathcal{S} .

$$y = OA = OG + GA = OG + KC.$$

Da nun der Winkel $GEO = ECK = EOH = \mathcal{P}$ ist, so ist

$$OG = OE \sin (GEO) = z_1 \sin \mathcal{P}$$

$$KC = CE \cos (ECK) = y_1 \cos \mathcal{P},$$

folglich

$$y = y_1 \cos \mathcal{P} + z_1 \sin \mathcal{P}$$

488 und ebenso

$$z = OB = OH - KE$$

$$OH = OE \cos (EOH) = z_1 \cos \mathcal{P}$$

$$KE = EC \sin (ECK) = y_1 \sin \mathcal{P},$$

also

$$z = z_1 \cos \mathcal{P} - y_1 \sin \mathcal{P}.$$

Wir haben also für die Coordinaten xyz des durch die $x_1 y_1 z_1$ gegebenen Punktes nach der Drehung folgende Werthe:

$$\left. \begin{aligned} x &= x_1 \\ y &= y_1 \cos \mathcal{P} + z_1 \sin \mathcal{P} \\ z &= -y_1 \sin \mathcal{P} + z_1 \cos \mathcal{P} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots 1).$$

Wenn ferner der Messingring des Globus in dem Gestelle gedreht wird, so ändert sich die Lage des Systems der $x_2 y_2 z_2$ gegen das der $x_1 y_1 z_1$, wobei die $x_2 y_2$ Ebene aber mit der $x_1 y_1$ Ebene in Congruenz bleibt, und also auch die z_2 Axe mit der z_1 Axe. Der Drehungswinkel sei α , die Werthe der Coordinaten $x_1 y_1 z_1$ findet man ausgedrückt in den Werthen der $x_2 y_2 z_2$ ähnlich wie vorher

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= x_2 \cos \alpha - y_2 \sin \alpha \\ y_1 &= x_2 \sin \alpha + y_2 \cos \alpha \\ z_1 &= z_2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots 1a).$$

Endlich drehe man den Globus um seine Polaxe, dabei verschiebt sich das System der $\xi v \zeta$ gegen das der $x_2 y_2 z_2$, während die ξ und die x_2 Axe, als Drehungsaxe, congruent bleiben. Die Werthe der $x_2 y_2 z_2$ sind, wenn der Drehungswinkel mit ω bezeichnet wird,

$$\left. \begin{aligned} x_2 &= \xi \\ y_2 &= v \cos \omega + \zeta \sin \omega \\ z_2 &= -v \sin \omega + \zeta \cos \omega \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots 1b).$$

Nun setze man die Werthe von $x_1 y_1 z_1$ aus 1a) in die Gleichungen 1); man erhält

$$\begin{aligned} x &= x_2 \cos \alpha - y_2 \sin \alpha \\ y &= x_2 \sin \alpha \cos \mathcal{P} + y_2 \cos \alpha \cos \mathcal{P} + z_1 \sin \mathcal{P} \\ z &= -x_2 \sin \alpha \sin \mathcal{P} - y_2 \cos \alpha \sin \mathcal{P} + z_2 \cos \mathcal{P}. \end{aligned}$$

In diese Gleichungen endlich setze man für $x_2 y_2 z_2$ deren Werthe aus den Gleichungen 1b). Man erhält

$$\left. \begin{aligned} x &= \xi \cos \alpha - v \cos \omega \sin \alpha - \zeta \sin \omega \sin \alpha \\ y &= \xi \sin \alpha \cos \vartheta + v (\cos \alpha \cos \vartheta \cos \omega - \sin \vartheta \sin \omega) \\ &\quad + \zeta (\cos \alpha \cos \vartheta \sin \omega + \sin \vartheta \cos \omega) \\ z &= -\xi \sin \alpha \sin \vartheta - v (\cos \alpha \sin \vartheta \cos \omega + \cos \vartheta \sin \omega) \\ &\quad - \zeta (\cos \alpha \sin \vartheta \sin \omega - \cos \vartheta \cos \omega) \end{aligned} \right\} \dots\dots 1c).$$

Dadurch sind die Raum-Coordinationen xyz jedes Punktes gegeben, der durch seine Coordinationen $\xi v \zeta$ auf oder in der Kugel gegeben ist.

Bestimmen wir zunächst die Lage der Polaxe, welche der Blicklinie des Auges ⁴⁸⁹ entsprechen soll; sie ist die Axe der ξ , für ihre Punkte ist $v = \zeta = 0$. Daraus folgt dann für einen Punkt der Polaxe, welcher um ξ vom Drehpunkte entfernt ist

$$\begin{aligned} x &= \xi \cos \alpha \\ y &= \xi \sin \alpha \cos \vartheta \\ z &= -\xi \sin \alpha \sin \vartheta. \end{aligned}$$

Der Winkel zwischen der Polaxe und ihrer Anfangsstellung ist also α , und die Projection der Polaxe auf die Horizontalebene ist $\xi \sin \alpha$, welche mit der xy Ebene den Winkel ϑ macht. Diese Projection ist nun aber die Schnittlinie einer durch die verticale x Axe und die Polaxe ξ gelegten Ebene mit der Horizontalebene. Übertragen wir diese Verhältnisse auf das Auge, so ist

α der Winkel zwischen der ersten und zweiten Lage der Blicklinie,

ϑ der Winkel, den eine durch die erste und zweite Lage gelegte Ebene mit der ursprünglichen xy Ebene bildet.

Durch beide Winkel ist die Richtung der Blicklinie gegeben.

Um nun noch den Sinn des Winkels ω für die Verhältnisse am Auge anschaulich zu machen, wollen wir fragen, wie muß der Winkel ω gewählt werden, wenn sich das Auge nach dem Gesetze von LISTING bewegt, und die Anfangslage, wo die xyz mit den $\xi v \zeta$ zusammenfallen, seine Primärlage ist. Dann müßte nach diesem Gesetze die neue Stellung die gleiche sein, als wäre das Auge durch Drehung um eine in der $v\zeta$ und yz Ebene liegende Drehungsaxe in die neue Lage übergeführt worden. Da die Punkte der Drehungsaxe unveränderte Lage behalten, so muß für sie auch nach der Drehung

$$x = \xi \quad y = v \quad z = \zeta \dots\dots\dots 2)$$

sein. Durch diese drei Bedingungen können wir in allen Fällen die Lage der Drehungsaxe finden. Da der Forderung des LISTING'schen Gesetzes gemäß die Drehungsaxe in der $v\zeta$ Ebene liegen, das heißt für ihre Punkte $\xi = 0$ sein soll, so erhalten wir aus den Gleichungen 1c) nach Einsetzung dieser Werthe

$$\begin{aligned} 0 &= -v \cos \omega \sin \alpha - \zeta \sin \omega \sin \alpha \\ v &= v (\cos \alpha \cos \vartheta \cos \omega - \sin \vartheta \sin \omega) + \zeta (\cos \alpha \cos \vartheta \sin \omega + \sin \vartheta \cos \omega) \\ \zeta &= -v (\cos \alpha \sin \vartheta \cos \omega + \cos \vartheta \sin \omega) - \zeta (\cos \alpha \sin \vartheta \sin \omega - \cos \vartheta \cos \omega). \end{aligned}$$

Aus der ersten Gleichung folgt:

$$v \cos \omega + \zeta \sin \omega = 0,$$

was erfüllt wird, wenn wir setzen

$$v = h \sin \omega, \quad \zeta = -h \cos \omega,$$

worin h eine willkürliche Gröfse bedeutet. Dadurch reduciren sich die beiden andern Gleichungen auf die Bedingungen

$$\sin \omega = -\sin \vartheta$$

$$-\cos \omega = -\cos \vartheta,$$

die zu erfüllen sind durch die Annahme

$$\omega = -\vartheta \dots\dots\dots 2a).$$

490 Dies ist also die Bedingung, dafs die durch die Gleichungen 1 c) gegebenen Drehungen dem LISTING'schen Gesetze folgen. Dann werden die Werthe x, y, z

$$\left. \begin{aligned} x &= \xi \cos \alpha - v \cos \vartheta \sin \alpha + \zeta \sin \vartheta \sin \alpha \\ y &= \xi \sin \alpha \cos \vartheta + v (\cos \alpha \cos^2 \vartheta + \sin^2 \vartheta) \\ &\quad + \zeta (1 - \cos \alpha) \sin \vartheta \cos \vartheta \\ z &= -\xi \sin \alpha \sin \vartheta - v (\cos \alpha - 1) \sin \vartheta \cos \vartheta \\ &\quad + \zeta (\cos \alpha \sin^2 \vartheta + \cos^2 \vartheta) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots 2b).$$

Zu bemerken ist noch, dafs überhaupt, auch abgesehen von LISTING's Gesetz, die Summe $\omega + \vartheta$ für sehr kleine Werthe von α jedenfalls verschwindend klein werden muß, wenn nicht Verschiebungen der Blicklinie um unendlich kleine Werthe von α endliche Lagenveränderungen des Auges ergeben sollen.

In den Gleichungen 2b) ist x die Entfernung des Punktes, dessen Coordinaten hier gegeben sind, von der yz Ebene; ξ ist die Entfernung desselben Punktes von der $v\zeta$ Ebene. Beide sind positiv genommen, wenn sie vor der Vorderseite dieser Ebenen liegen. Setzt man nun

$$x = -\xi \quad \text{oder} \quad x + \xi = 0 \dots\dots\dots 2c),$$

so ist dies die Gleichung aller der Punkte, die gleichweit von der Vorderseite der Ebene $x=0$ und von der Hinterseite Ebene $\xi=0$ abstehen. Diese Eigenschaft kommt aber den Punkten derjenigen Ebene zu, welche den Winkel ϑ , den die Ebenen $x=0$ und $\xi=0$ mit einander machen, halbirt. Die Gleichung 2 c) ist also die Gleichung dieser Halbiringebene. Diese Gleichung wird, wenn man den Werth von x aus 2 b) entnimmt

$$0 = \xi (1 + \cos \alpha) - v \cos \vartheta \sin \alpha + \zeta \sin \vartheta \sin \alpha \dots\dots\dots 2d).$$

Indem wir diese Gleichung mit dem Factor

$$\frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha}$$

multipliciren, erhalten wir

$$0 = \xi \sin \alpha - v \cos \vartheta (1 - \cos \alpha) + \zeta \sin \vartheta (1 - \cos \alpha) \dots\dots\dots 2e).$$

Multiplirciren wir diese letztere mit $\cos \vartheta$, so erhalten wir

$$0 = \xi \sin \alpha \cos \vartheta + v (\cos \alpha \cos^2 \vartheta - \cos^2 \vartheta) + \zeta \cos \vartheta \sin \vartheta (1 - \cos \alpha).$$

Bei der Vergleichung mit dem Werthe von y in 2b) zeigt sich, dafs diese identisch ist mit

$$v = y.$$

Eine entsprechende Gleichung, welche man durch Multiplication von 2e) mit $\sin \vartheta$ erhält, ist identisch mit

$$\zeta = z.$$

Für die Punkte der Halbirungsebene des Winkels ϑ , den die Ebenen $x = 0$ und $\xi = 0$ mit einander machen, ist also

$$x = -\xi, \quad y = v, \quad z = \zeta \dots \dots \dots 2f).$$

Nehmen wir nun eine zweite Stellung des Bulbus, für die wir die Werthe von ⁴⁹¹ $x, y, z, \alpha, \vartheta$ beziehlich mit $x_0, y_0, z_0, \alpha_0, \vartheta_0$ bezeichnen, so ist für die Halbirungsebene des Winkels ϑ_0 , welchen die Ebenen $x_0 = 0$ und $\xi = 0$ mit einander machen, ebenfalls

$$x_0 = -\xi, \quad y_0 = v, \quad z_0 = \zeta.$$

Wenn also der Punkt $\xi v \zeta$ gleichzeitig beiden Halbirungsebenen angehört, das heifst in deren Schnittlinie liegt, so ist für ihn

$$x = x_0, \quad y = y_0, \quad z = z_0.$$

Die Punkte der genannten Schnittlinie haben also dieselbe Lage im Raume bei der ersten wie bei der zweiten Stellung des Auges, und daraus folgt, dafs, wenn man das Auge aus der ersten in die zweite Stellung durch Drehung um eine constante Axe überführen will, die genannte Schnittlinie der Halbirungsebenen dabei als Axe zu benutzen ist. Die Lage dieser Axe ist gegeben durch die Gleichung 2b) und die analoge Gleichung für die zweite Stellung

$$x + \xi = 0 \text{ und } x_0 + \xi = 0.$$

Der Winkel, durch den der Bulbus um die resultirende Drehungsaxe hierbei gedreht werden mufs, um die erste Stellung in die zweite überzuführen, ist doppelt so grofs, als der Winkel, unter dem sich die genannten beiden Halbirungsebenen $x + \xi = 0$ und $x_0 + \xi = 0$ gegenseitig schneiden.

Die hier gegebene Regel, nach welcher das Resultat zweier auf einander folgender Drehungen auf eine einzige Drehung reducirt wird, kann ganz unabhängig vom LISTING'schen Gesetze auf jeden Körper übertragen werden, der sich um einen Punkt dreht. Wenn ein solcher Körper nach einander um zwei verschiedene Axen gedreht wird, und man kennt die Lage beider Axen, die sie haben, während die Drehung um sie geschieht, oder, was dasselbe ist, die sie haben nach der ersten Drehung und vor der zweiten Drehung, so lege man durch beide Axen eine Ebene, welche A heifsen mag, und construire die Lage dieser Ebene, welche sie hat vor der ersten Drehung, A_0 , und diejenige, welche sie hat nach der zweiten Drehung, A_1 . Da die Drehungsaxen die Schnittlinien von A_0 und A_1

so wie von A_1 und A sind, so ist dies ohne Schwierigkeit auszuführen, sobald man die Größe der Drehungswinkel kennt, welches die Winkel A_0A und A_1A sind. Man construire die Halbierungsebenen beider Winkel; deren Schnittlinie ist die resultirende Drehungsaxe, der doppelte Werth des Winkels, unter dem sich die beiden Halbierungsebenen schneiden (gleichgültig welchen von den beiden Winkeln man nimmt), ist der Drehungswinkel.

Wenn die Drehungen unendlich klein sind, so liegt die resultirende Drehungsaxe unendlich wenig von der Ebene entfernt, welche die beiden anderen Axen enthält, und fällt im Grenzfall mit der Diagonale des Parallelogramms zusammen, dessen zwei Seiten der Richtung nach mit den beiden Drehungsaxen zusammenfallen und eine der Größe der Drehungswinkel proportionale Länge haben.

Wir kehren zurück zu den Folgerungen aus dem LISTING'schen Gesetze für die Bewegungen des Bulbus. Da die Drehungsaxe, um welche das Auge zu drehen ist, um es aus der Stellung der Gleichungen 2b) überzuführen in irgend eine andere Stellung mit den Coordinaten x_0, y_0, z_0 , jedenfalls in der Ebene $x + \xi = 0$ liegt, welches auch die zweite Stellung sei, so folgt, daß jedes Mal, wo man von einer bestimmten Anfangsstellung des Bulbus in beliebige andere Stellungen durch Drehung um feste Axen übergehen will, diese Drehungsaxen alle in einer gewissen Ebene liegen müssen, deren Lage nur von der Anfangsstellung abhängt, nicht von der zu erreichenden Stellung, und daß ferner jede Drehung von beliebiger Größe um eine der in der genannten Ebene liegenden Axen das Auge aus der zugehörigen Anfangsstellung immer wieder in neue Stellungen überführt, die dem LISTING'schen Gesetze entsprechen.

Die Primärstellung der Blicklinie ist also nur dadurch ausgezeichnet, daß die zugehörige Ebene der Drehungsaxen auf der Blicklinie senkrecht steht.

Die Lage der Normale auf der Ebene der Drehungsaxen für irgend eine Lage der Blicklinie findet man also, wenn man den Winkel zwischen der zeitigen Lage der Blicklinie und ihrer Primärstellung halbirt. Man kann diese Normale die zeitige atrophe Linie für die betreffende Augenstellung nennen.

Bei jeder fortgesetzten Drehung um eine Axe, welche das Auge in Übereinstimmung mit dem LISTING'schen Gesetze ausführt, wird die zeitweilige atrophe Linie der Anfangsstellung einen größten Kreis auf dem kugeligem Blickfelde beschreiben, weil sie senkrecht zur Drehungsaxe im Drehpunkte steht. Die Blicklinie aber, welche im Allgemeinen nicht senkrecht zur Drehungsaxe, wird keinen größten Kreis, sondern einen Parallelkreis zum größten Kreise der relativ atropen Linie ihrer Anfangsstellung beschreiben.

Es sei in *Fig. 209* O der Drehpunkt des Auges, AO die Primärstellung der Blicklinie, OB eine zweite Stellung derselben. Der Kreis $ACBDF$ stelle den Durchschnitt des kugelig gedachten Blickfeldes vor.

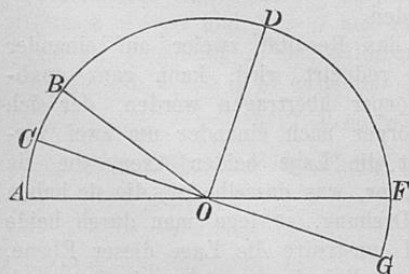


Fig. 209.

Der Winkel AOB werde halbirt durch $GO C$, so ist $GO C$ die atrophe Linie für die Stellung der Blicklinie in OB , und wenn OD ein Loth zu OC ist, so würde eine senkrecht zur Ebene der Zeichnung durch OD gelegte Ebene die Ebene der Drehungsaxen für OB sein. Nun ist leicht zu sehen, daß, wenn wir AO bis F verlängern, die Winkel BOD und FOD gleich

sind, da sie die Complementary der gleichen Winkel BOC und GOF sind. Daraus folgt weiter, daß, wenn OE irgend eine andere Axe in der durch OD gelegten Ebene der Drehungsaxen ist, auch der Winkel BOE und FOE gleich sein müssen.

Wenn man also den Bulbus um die Axe OE ganz herumdrehen könnte, würde die Linie OB auch in die Lage OF kommen müssen. Folglich müssen auch die Kreise, welche die Blicklinie, ausgehend von der Stellung OB , bei der Drehung um eine feste Axe dem LISTING'schen Gesetze gemäß im kugeligen Blickfelde beschreibt, alle durch den Punkt F gehen. Die Lage des Punktes F ist aber ganz unabhängig von der Lage von OB , nur abhängig von der Primärstellung OA . Wir können ihn den Occipitalpunkt des Blickfeldes nennen. Daraus folgt:

Alle Kreisbögen, welche die Blicklinie bei der Drehung um eine feste Axe dem LISTING'schen Gesetze gemäß im kugeligen Blickfelde beschreibt, gehen verlängert durch den Occipitalpunkt des Blickfeldes.

Und umgekehrt:

Wenn die Blicklinie dem LISTING'schen Gesetze entsprechend einen Kreisbogen im kugeligen Blickfelde beschreibt, der durch den Occipitalpunkt des Blickfeldes geht, so dreht sie sich dabei um eine festbleibende Axe, die senkrecht zur Ebene des betreffenden Kreises ist.

Wir wollen diese Kreise des kugeligen Blickfeldes, welche durch den Occipitalpunkt gehen, Directionskreise nennen. Ihre Wichtigkeit für die Orientirung wird sich noch in den nächsten Abschnitten mehr zeigen. Die Directionskreise sind also größte Kreise des Blickfeldes nur, wenn sie durch die Primärstellung der Blicklinie gehen, deren Ort im Blickfelde wir den Hauptblickpunkt nennen können. 493

Es ergibt sich ferner leicht, daß, wenn ein linienförmiges Nachbild im Auge entwickelt ist, welches sich in das Blickfeld auf einen Directionskreis der betreffenden Stellung der Blicklinie projicirt, und das Auge in Richtung dieses Directionskreises bewegt wird, das Nachbild seine scheinbare Lage in diesem Directionskreise behalten und sich nur in Richtung seiner eigenen Länge verschieben wird; und wenn ein Nachbild entwickelt ist, welches in dem Blickpunkt einen der betreffenden Directionskreise senkrecht schneidet, dass es bei der Bewegung des Blicks in diesem Directionskreise senkrecht zu demselben bleiben wird.

Endlich ist auch leicht einzusehen, daß das Nachbild congruiren wird mit der Richtung aller derjenigen Directionskreise, die im Occipitalpunkt die gleiche Tangente mit demjenigen haben, mit dem es zuerst congruirte.

Die Gleichung der Directionskreise, welche durch eine bestimmte Stellung der Blicklinie hindurchgehen, z. B. durch die in den Gleichungen 2b) gegebene, ergibt sich leicht aus der Bedingung, daß sie durch eine Ebene, welche durch den Occipitalpunkt geht, aus dem kugelförmigen Blickfelde ausgeschnitten werden, dessen Mittelpunkt der Drehpunkt des Auges, der Anfangspunkt unserer Coordinaten ist. Es sei also die Gleichung des kugelförmig gedachten Blickfeldes

$$x^2 + y^2 + z^2 = R^2 \dots\dots\dots 3).$$

Die allgemeine Gleichung einer Ebene ist

$$ax + by + cz = A.$$

Die Coordinaten des Occipitalpunktes sind

$$x = -R, \quad y = 0, \quad z = 0.$$

Diese in die Gleichung der Ebene gesetzt, müssen dieser genügen, also

$$-aR = A.$$

Dadurch ist die unbekante Größe A bestimmt, und die Gleichung einer beliebigen Ebene, die durch den Occipitalpunkt geht, wird also

$$ax + by + cz = -aR \dots\dots\dots 3a).$$

Die beiden Gleichungen 3) und 3a) sind also die Gleichungen eines beliebigen Directionskreises.

Schreiben wir diese beiden Gleichungen wie folgt:

$$x^2 \left(1 + \frac{y^2}{x^2} + \frac{z^2}{x^2} \right) = R^2$$

$$x^2 \left(1 + \frac{b}{a} \frac{y}{x} + \frac{c}{a} \frac{z}{x} \right)^2 = R^2$$

und dividiren sie durch einander, so erhalten wir

$$1 + \frac{y^2}{x^2} + \frac{z^2}{x^2} = \left(1 + \frac{b}{a} \frac{y}{x} + \frac{c}{a} \frac{z}{x} \right)^2 \dots\dots\dots 3b)$$

494

Dies ist die Gleichung eines Kegels, dessen Spitze im Anfangspunkt der Coordinaten liegt, und der durch den Directionskreis hindurchgeht. Das letztere ist der Fall, weil wir die Gleichung 3b) aus den Gleichungen 3) und 3a) abgeleitet haben, in denen x, y, z die Coordinaten eines beliebigen Punktes des Directionskreises bezeichnen, und ein Kegel ist die in 3b) gegebene Fläche, weil die Gleichung 3b), wenn sie erfüllt wird durch die Coordinaten eines Punktes x, y, z , auch erfüllt wird durch die Coordinaten aller derjenigen Punkte, für welche die Verhältnisse $\frac{y}{x}$ und $\frac{z}{x}$ dieselben Werthe haben.

Wenn aber $\frac{y}{x} = C_0$ und $\frac{z}{x} = C_1$ gesetzt werden, so sind dies die Gleichungen einer geraden Linie, die durch den Mittelpunkt der Coordinaten geht. Da also alle Punkte einer geraden Linie, die durch den Mittelpunkt der Coordinaten und durch einen Punkt der Fläche 3b) geht, ganz in dieser Fläche liegen, so ist diese Fläche eine Kegelfläche.

Die geraden Linien, die in der Oberfläche dieses Kegels zu ziehen sind, sind die Richtungen, welche die Blicklinie annimmt, wenn sie den betreffenden Directionskreis durchläuft.

Wenn ein linienförmiges Nachbild in Richtung eines Directionskreises entworfen wird, so bleibt, wie wir hervorgehoben haben, das Nachbild in dem Directionskreise liegen, wenn das Auge dessen einzelne Punkte durchläuft. Oben haben wir die Nachbilder auf eine Ebene projectirt, die senkrecht zur Primärstellung des Auges war, deren Gleichung also ist

$$x = C.$$

Setzen wir in 3b) das x constant, so wird 3b) die Gleichung einer Hyperbel, welche die Projection des Directionskreises auf die genannte Ebene ist. Sie ist

$$0 = (b^2 - a^2) y^2 + (c^2 - a^2) z^2 + 2bcyz + 2abxy + 2acxz \dots\dots\dots 3c).$$

In dieser allgemeinen Form giebt die Gleichung alle Hyperbeln, längs welcher irgend wie gerichtete linienförmige Nachbilder verschoben werden können.

Beschränken wir uns dagegen auf solche, welche ursprünglich einer bestimmten Richtung parallel waren, zum Beispiel der z Axe, so ist in der Gleichung des Directionskreises 3a) die Constante $c = 0$ zu setzen, und setzen wir ferner

$$a = -\sin \frac{\alpha}{2} \quad b = +\cos \frac{\alpha}{2}$$

so wird die Gleichung 3c)

$$0 = y^2 \cos \alpha - z^2 \sin^2 \frac{\alpha}{2} - xy \sin \alpha$$

oder

$$\cos \alpha \left(y - \frac{1}{2} x \operatorname{tg} \alpha \right)^2 - z^2 \sin^2 \frac{\alpha}{2} = \frac{1}{4} x^2 \cos \alpha \operatorname{tg}^2 \alpha.$$

Setzt man

$$\frac{1}{2} x \operatorname{tg} \alpha = f$$

und

$$x \sqrt{\frac{\operatorname{tg} \alpha}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}} = g,$$

495

so wird die Gleichung der Hyperbel

$$\frac{(y - f)^2}{f^2} - \frac{z^2}{g^2} = 1.$$

Es ist also f die reelle Axe, g die imaginäre, und der Mittelpunkt der Hyperbel um die Länge der reellen Axe von der Linie $z = 0$ entfernt. Der eine Scheitel aller dieser Hyperbeln liegt in der x Axe, im Punkte $z = 0, y = 0$, aber diejenigen Zweige der Hyperbeln, welche durch diesen Punkt gehen, sind keine optischen Projectionen des betreffenden Directionskreises. Sie sind vielmehr nur geometrische Projectionen der hinteren nicht sichtbaren Hälfte des Directionskreises. Hyperbeln dieser Art sind oben construirt in *Fig. 200*.

Es bleibt noch übrig, die Drehung zu bestimmen, welche nach dem LISTING'Schen Gesetze das Auge in Beziehung auf die Visirebene erleidet. Es sei die Ebene $\zeta = 0$ der Netzhauthorizont des Auges, und $z = 0$ also seine Primärstellung und gleichzeitig die Primärstellung der Visirebene. Die y Axe ist dann die Linie, welche die Drehpunkte beider Augen verbindet. Die Visirebene muß also immer durch die y Axe gehen. Die allgemeine Gleichung solcher Ebenen ist

$$ax + bz = 0.$$

Für die Blicklinie ist $v = \zeta = 0$, also nach 2b)

$$x = \xi \cos \alpha, \quad y = \xi \sin \alpha \cos \vartheta, \quad z = -\xi \sin \alpha \sin \vartheta$$

und da die Blicklinie in der Visirebene liegen muß, folgt, daß diese Werthe von x und z der allgemeinen Gleichung der Visirebene genügen müssen, also

$$a \xi \cos \alpha - b \xi \sin \alpha \sin \vartheta = 0.$$

Dem genügen wir, wenn wir setzen

$$a = \sin \alpha \sin \vartheta, \quad b = \cos \alpha.$$

Die Gleichung der Visirebene wird also

$$x \sin \alpha \sin \vartheta + z \cos \alpha = 0$$

oder wenn wir die Werthe aus 2b) einsetzen

$$0 = v \cos \vartheta \sin \vartheta (1 - \cos \alpha) - \zeta (\sin^2 \vartheta + \cos \alpha \cos^2 \vartheta) \dots \dots \dots 4).$$

Wenn die Gleichungen zweier Ebenen sind

$$\begin{aligned} ax + by + cz + d &= 0 \\ \alpha x + \beta y + \gamma z + \delta &= 0, \end{aligned}$$

so ist der Winkel k , den sie mit einander machen, bekanntlich

$$\cos k = \frac{a\alpha + b\beta + c\gamma}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2} \sqrt{\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2}}$$

496 Daraus folgt, daß der Winkel, den die Visirebene der Gleichung 4) mit dem Netzauthorizont macht, dessen Gleichung ist

$$0 = \zeta \dots \dots \dots 4a).$$

gegeben wird durch die Gleichung

$$\cos k = - \frac{\sin^2 \vartheta + \cos \alpha \cdot \cos^2 \vartheta}{\sqrt{\sin^2 \vartheta + \cos^2 \alpha \cos^2 \vartheta}}$$

oder

$$\text{tang } k = \frac{\cos \vartheta \sin \vartheta (1 - \cos \alpha)}{\sin^2 \vartheta + \cos \alpha \cos^2 \vartheta} \dots \dots \dots 4b).$$

Der Winkel k , welcher zwischen der zeitigen Lage des Netzauthorizonts und der Visirebene liegt, ist hierdurch gegeben.

Der Winkel k' zwischen der Ebene des ursprünglich senkrechten Meridians $v = 0$ und einer durch die senkrechte z Axe und die Blicklinie gelegten Ebene

$$x \sin \alpha \cos \vartheta - y \cos \alpha = 0$$

wird in ähnlicher Weise gefunden

$$\text{cotg } k' = \frac{\cos \vartheta \sin \vartheta (1 - \cos \alpha)}{\cos^2 \vartheta + \sin^2 \vartheta \cos \alpha} \dots \dots \dots 4c).$$

Nun sind häufig nicht die Winkel α und ϑ zur Abmessung der Stellung der Blicklinie gebraucht worden, sondern entweder der Erhebungswinkel λ und Seitenwendungswinkel μ , wie sie oben definiert wurden, oder die Winkel, welche FICK die *Longitudo* und *Latitudo* genannt hat, die mit l und m bezeichnet werden mögen. Diese sind noch in die Formeln 4b) und 4c) einzuführen, um sie zur Berechnung so ausgeführter Versuche geschickt zu machen.

Der Erhebungswinkel λ ist der Winkel zwischen der Visirebene

$$x \sin \alpha \sin \vartheta + z \cos \alpha = 0$$

und der Ebene $z = 0$, seine Tangente ist hiernach

$$\text{tang } \lambda = \frac{z}{x} = - \text{tang } \alpha \sin \vartheta.$$

Der Seitenwendungswinkel ist gleich dem Winkel zwischen der Äquatorial-ebene des Auges $\xi = 0$ und der Ebene, welche durch die y Axe senkrecht zur Visirebene geht

$$x \cos \alpha - z \sin \alpha \sin \vartheta = 0$$

oder nach Substitution der Werthe aus 2b)

$$0 = \xi [\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha \sin^2 \vartheta] - v \sin \alpha \cos \vartheta [\sin^2 \vartheta + \cos \alpha \cos^2 \vartheta] \\ + \zeta \sin \alpha \sin \vartheta \cos^2 \vartheta [\cos \alpha - 1],$$

woraus nach denselben Regeln wie oben folgt, daß der Winkel μ zwischen dieser Ebene und der Ebene $\xi = 0$, sei

$$\cos \mu = \sqrt{\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha \sin^2 \vartheta}.$$

Zur Bestimmung von α und ϑ hat man also die beiden Gleichungen

497

$$\text{tang } \lambda = - \text{tang } \alpha \sin \vartheta$$

$$\cos^2 \mu = \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha \sin^2 \vartheta,$$

woraus folgt

$$\cos \alpha = \cos \mu \cos \lambda$$

$$\sin \vartheta = \mp \frac{\cos \mu \sin \lambda}{\sqrt{1 - \cos^2 \mu \cos^2 \lambda}}$$

oder

$$\text{tang } \vartheta = \sin \lambda \cotang \mu.$$

Wenn wir diese Werthe in 4b) und 4c) setzen, erhalten wir

$$\text{tang } k = - \frac{\sin \mu \sin \lambda}{\cos \mu + \cos \lambda} \dots \dots \dots 4d)$$

und

$$\text{tang } k' = \frac{\sin \mu \cos \mu \sin \lambda (1 - \cos \mu \cos \lambda)}{\sin^2 \mu + \cos^3 \mu \sin^2 \lambda \cos \lambda}$$

Nach einer ähnlichen Methode findet man

$$\text{tang } k = - \frac{\sin m \cos m \sin l (1 - \cos m \cos l)}{\sin^2 m + \cos^3 m \sin^2 l \cos l}$$

$$\text{tang } k' = \frac{\sin m \sin l}{\cos m + \cos l} \dots \dots \dots 4 e).$$

Wann die hier gebrauchten Winkel positiv, wann negativ zu nehmen sind, ist oben festgesetzt worden.

Wenn man statt der Winkel k, μ, λ und k', m, l ihre Hälften in die Gleichungen 4d) und 4 e) einführt, bekommen diese die zur logarithmischen Rechnung bequemere Gestalt

$$\left. \begin{aligned} \text{tang} \left(\frac{k}{2} \right) &= - \text{tang} \left(\frac{\mu}{2} \right) \cdot \text{tang} \left(\frac{\lambda}{2} \right) \cdot \dots \dots \dots \\ \text{tang} \left(\frac{k'}{2} \right) &= \text{tang} \left(\frac{m}{2} \right) \cdot \text{tang} \left(\frac{l}{2} \right) \cdot \dots \dots \dots \end{aligned} \right\} 4 f)$$

516 Bestimmung des Drehpunkts der Augen nach DONDERS.¹ Es wird zuerst der horizontale Durchmesser der Hornhaut mit dem Ophthalmometer bestimmt. Zu dem Ende bringt man unmittelbar über dem Ophthalmometer eine kleine Flamme an, die von der Hornhaut gespiegelt wird, und neben dem Ophthalmometer ein horizontal verschiebbares Gesichtszeichen, welches von dem beobachteten Auge fixirt wird. Dieses Auge wird übrigens von der Seite her durch eine helle Lampe stark beleuchtet, gegen deren Strahlen das Ophthalmometer geschützt ist. Man sucht nun das Ophthalmometer so einzustellen, daß jedes Doppelbild des Flammenreflexes mit einem Doppelbild je eines seitlichen Hornhautrandes zusammenfällt. Damit dies für beide Bilder des Lichtreflexes zugleich geschehen kann, muß die Mitte der Hornhaut gerade gegen das Ophthalmometer gekehrt sein. Um dies zu erreichen, muß man das Gesichtszeichen so lange hin und herschieben, bis der genannten Forderung Genüge geleistet wird. Der Winkel, um den die Platten des Ophthalmometers gedreht sind, entspricht dann der halben Breite der Hornhaut, und ist diese nach den auf S. 13 gegebenen Regeln daraus zu berechnen. Der Winkel, den die nach dem Auge gerichtete Axe des Ophthalmometers und die nach dem Gesichtszeichen gerichtete Blicklinie des Auges mit einander machen, entspricht der Abweichung der Blicklinie von der Axe der Hornhaut.

Um nun den Bogen zu bestimmen, den die Hornhaut beschreiben muß, um die Länge ihres eigenen queren Durchmessers im Raume zu durchlaufen, wurde vor dem zu untersuchenden Auge ein Ring aufgehängt, in welchem ein feines Haar senkrecht gespannt war. Dann wurde ermittelt, um wieviele Grade (ausgehend von dem Stand, wobei die Hornhautaxe auf das Kreuz des Ophthalmometers gerichtet war) nach beiden Seiten hin visirt werden mußte, damit bei unbeweglich gehaltenem Kopfe nach einander jeder von den Rändern der Hornhaut mit dem Haare zusammenfiel. Die gefundene Anzahl von Graden stellte den Winkel dar, den das Auge hierbei um den Drehpunkt beschrieben hatte. Sehr bald stellte sich heraus, daß bei normalen Augen dieser Winkel ungeräher 56° betrug. DONDERS begann deshalb später jede Messung damit, ein Visir 28° nach links, ein anderes ebenso weit nach rechts von dem erstgenannten Visir, welches zur

¹ Archiv für die holländischen Beiträge zur Natur- und Heilkunde. Bd. III, Hft. 3, S. 260—281.

Einstellung des Lichtreflexes auf die Mitte der Hornhaut gedient hatte, aufzustellen. Der Kopf wurde so gedreht, daß bei dem Fixiren des einen seitlichen Visirs der eine Rand der Hornhaut mit dem Haar zusammenfiel, und es wurde untersucht, ob beim Fixiren des zweiten seitlichen Visirs der entgegengesetzte Rand der Hornhaut dem Haar entsprach. Nur selten war dies vollkommen der Fall; aber es stellte sich doch heraus, ob ein größerer oder kleinerer Bogen beschrieben werden mußte. Dem entsprechend wurden dann die beiden seitlichen Visire um gleich viel von dem mittleren entfernt, oder ihm genähert, bis man endlich ein genaues Zusammenfallen der Ränder der Hornhaut mit dem Haare erhielt. Indem man nun schnell einige Male abwechselnd nach dem einen und dem andern Visir sehen liefs, wurde der Einfluß einer etwaigen früheren Bewegung des Kopfes beseitigt.

Wenn a die halbe Breite der Hornhaut ist, welche man mit dem Ophthalmometer gefunden hat, und β der Winkel, um den jedes seitliche Visir, vom beobachteten Auge gesehen, vom mittleren absteht, so ist der Abstand des Drehpunkts von der horizontalen größten Sehne der Hornhaut gleich $a \cdot \cotang \beta$. 517

In vielen Fällen, namentlich bei Kurzsichtigen, war die Beweglichkeit des Auges zu beschränkt, um die Hornhaut den nothwendigen Raum durchlaufen lassen zu können. In diesen Fällen gebrauchte DONDERS einen mit zwei parallel ausgespannten Drähten, deren gegenseitiger Abstand (3,02 Millimeter) genau bestimmt war, versehenen Ring. Die Visire wurden so gestellt, daß abwechselnd der eine Draht mit dem Innen-, der andere mit dem Außenrand der Hornhaut zusammenfiel. Um den durchlaufenen Raum zu ermitteln, war es dann nur nöthig, den Abstand der Drähte von der zuvor gefundenen Breite der Hornhaut abzuziehen, und dieser Werth wurde der ferneren Berechnung zu Grunde gelegt.

Die Resultate dieser Untersuchungen sind schon oben angegeben.

Prüfung des Drehungsgesetzes der Augen mit Hilfe der Nachbilder. Für normalsichtige Augen und für parallele Stellungen von deren Gesichtslinien ist es am einfachsten die Versuche vor einer großen mit hellgrauer Tapete überzogenen Wand anzustellen, die ein nicht zu scharf gezeichnetes Muster hat, an dem horizontale und verticale Linien hervortreten. Man befestigt in der Höhe der Augen ein horizontales rothes Band, auf dem man sich den Mittelpunkt für die Fixation durch einen schwarzen Punkt bezeichnet. Wenn man diesen Punkt kurze Zeit fixirt und dann nach der Tapete hinblickt, sieht man ein hellgrünes Nachbild des Bandes, und kann leicht erkennen, ob dasselbe den horizontalen Linien des Tapetenmusters parallel läuft, oder von ihrer Richtung abweicht.

Um die Richtung der Primärstellung der Blicklinie in Beziehung auf den Kopf zu fixiren, benutze ich ein Brettchen, welches ein Visirzeichen trägt und zwischen die Zähne genommen wird. Es ist in *Fig. 210* in geometrischer Projection abgebildet. Das Brettchen AB (43 Centimeter lang, 4 breit) hat bei A einen den Zahnreihen entsprechenden bogenförmigen Ausschnitt, bei B trägt es eine vierkantige hölzerne Säule, an der ein horizontaler Streif CC aus steifem Papier mit Klebwachs, und daher leicht verschieblich, befestigt ist. Die Ränder des Ausschnitts A werden auf beiden Seiten mit einem Wulst von heißem Schellack bedeckt, und wenn dieses zu erhärten beginnt, drückt man die beiden Zahnreihen in den Schellack ab, indem man das Brettchen fest zwischen die Zähne nimmt. Ist das Harz erkaltet, so ist nachher die Lage des Brettchens zwischen den Zahnreihen unverrückbar festgestellt, und nach jeder Unterbrechung der Versuche immer wieder in genau unveränderter Weise herzustellen.

Der Papierstreifen CC wird so lang gemacht,

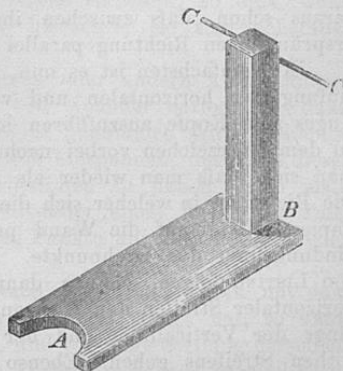


Fig. 210.

als die Distanz der Drehpunkte der Augen. Man erkennt dies leicht, wenn man nach einem unendlich entfernten Objecte hinsieht. Dann erscheint der Papierstreifen in einem binocularen Doppelbilde; man macht ihn so lang und dreht ihn so, daß die einander zugekehrten Enden seiner Doppelbilder gerade auf einander stoßen. Alsdann müssen die spitzen Enden des Streifens von einander um die Entfernung der Drehpunkte (oder eigentlich der Centra der Visirlinien) beider Augen von einander entfernt sein und ihre Verbindungslinie mit der Verbindungslinie der beiden Drehpunkte in einer Ebene liegen.

Wenn man nun die Beobachtungen beginnen will, welche entweder mit beiden oder mit je einem Auge ausgeführt werden können, ist es nöthig, zuerst die Primärstellung der Augen empirisch zu suchen. Dies geschieht, indem man von der gewählten Stellung aus, der Mitte des rothen Streifens gegenüber an der andern Seite des Zimmers, die Mitte des rothen Streifens eine Zeitlang fest fixirt, an dem entsprechenden Ende des Streifens *CC* vorbeiblickend, und dann sein Nachbild entweder gerade nach oben und unten, oder horizontal nach rechts und links verschiebt, und bemerkt, ob dasselbe den horizontalen Linien der Tapete parallel bleibt oder nicht. Ist das letztere der Fall, so muß man den Papierstreifen des Visirbrettchens verschieben, bis man die richtige Stellung desselben gefunden hat. Und zwar muß man den Papierstreifen weiter nach links schieben, wenn man nach oben blickend das linke Ende des Nachbildes höher, nach unten blickend dasselbe tiefer stehend findet. Findet man nach oben blickend dagegen das rechte Ende des Nachbildes höher, nach unten blickend dasselbe tiefer, so verschiebt man nach rechts. Man verschiebe den Streifen dagegen nach oben, wenn man nach links blickend das linke, nach rechts blickend das rechte Ende des Nachbildes tiefer stehend findet, und umgekehrt.

Hat man endlich für jedes Auge die Stellung des Visirzeichens gefunden, wobei das Auge in die Primärstellung kommt, so ist dadurch zunächst constatirt, daß es eine Lage des Auges giebt, von der aus sich der Blick horizontal fortbewegt durch Drehung um eine verticale Axe und vertical durch Drehung um eine horizontale Axe.

Während aber bei der Verschiebung des Blicks gerade nach oben oder gerade nach unten, und gerade nach rechts oder links die Nachbilder horizontaler und verticaler Urbilder horizontal und vertical bleiben, findet man, daß dies nicht gilt für die Verschiebung des Blicks schräg nach aufwärts oder abwärts. Man findet vielmehr, daß

- 1) bei der Richtung des Blicks nach rechts oben oder links unten
 - das Nachbild einer Horizontallinie gegen die Linien der Wand links gedreht,
 - das Nachbild einer Verticallinie rechts gedreht erscheint, und
- 2) bei der Richtung des Blicks nach links oben oder rechts unten
 - das Nachbild einer Horizontallinie rechts gedreht,
 - das einer Verticallinie links gedreht erscheint.

Da horizontale und verticale Linien verschiedene Drehung zeigen, so ergibt sich daraus schon, daß zwischen ihnen Linien existiren müssen, deren Nachbilder der ursprünglichen Richtung parallel sind.

Am einfachsten ist es nun, den Kopf so seitwärts zu neigen, daß man zur Durchlaufung der horizontalen und verticalen Linien der Wand schräge Bewegungen des Auges zum Kopfe auszuführen hat. Dadurch daß man auch bei solcher Kopfstellung an dem Visirzeichen vorbei nach dem Mittelpunkt des rothen Streifens blickt, sichert man sich, daß man wieder als Anfangstellung die Primärstellung des Auges einhält. Die Richtung, in welcher sich die Bilder der beiden Spitzen des als Visirzeichen dienenden Papierstreifens auf die Wand projiciren, bezeichnet auf dieser die Richtung der Verbindungslinie der Drehpunkte. Bei solchen Augen, deren Bewegungen dem Gesetze von LISTING folgen, bleiben dann auch bei seitwärts geneigtem Kopfe die Nachbilder horizontaler Streifen den Horizontallinien der Wand parallel, wenn man den Blickpunkt längs der Verticallinie und der Horizontallinie verschiebt, die durch die Mitte des rothen Streifens gehen. Ebenso verhält es sich mit den Nachbildern eines verticalen Streifens in Beziehung auf die verticalen Linien der Tapete.

Diese Beobachtungen, wobei das Nachbild auf eine verhältnißmäßig entfernte Wand geworfen wird, haben den Vortheil, daß kleine Verschiebungen des Kopfes nach rechts oder links, oben oder unten, einen verschwindend kleinen Einfluß auf die durch das Visirbrettchen gesicherte Lage der Blicklinie haben, und daß ferner die Augen von selbst in paralleler Stellung erhalten werden. Dagegen sind die Wände unserer Zimmer in der Regel nicht groß genug, um auch die Prüfung in den extremen Stellungen der Blicklinie bei hinreichend großer Entfernung von der Wand vornehmen zu lassen, und für Kurzsichtige ist diese Beobachtungsart nicht zu gebrauchen, weil sie ohne Brille nicht für die Wand accommodiren können, und Brillengläser, wenn sie nicht centrisch und senkrecht zur Gesichtslinie stehen, die scheinbare Neigung der gesehenen Linien verändern können. Für Beobachtungen in der Nähe habe ich die von mir früher beschriebene Methode abgeändert, um auch den Einfluß der Convergenz sicherer untersuchen und die Größe und Form des Gesichtsfeldes bestimmen zu können.

Als Gesichtsfeld dient eine an der Wand befestigte große hölzerne Tafel, die mit hellgrauem Papier glatt überzogen ist. Um die Stellung des Kopfes vor dieser sicher fixiren zu können, ist vor ihr in einer für die Accommodation des Beobachters passenden Entfernung ein kleines Tischchen aufgestellt und mit eisernen Klammern am Boden befestigt. Auf dem Tischchen ist ein eiserner Halter mit beweglichen Armen befestigt, wie man ihn in chemischen Laboratorien vielfach gebraucht, und dieser hält ein Brettchen ähnlich dem der *Fig. 210*, aber ohne die Säule und das Visirzeichen. Das Brettchen dient nur dazu, dem Kopfe des Beobachters, wenn er die Zähne darauf fest beißt, eine sichere Stellung der Tafel gegenüber zu geben. Mittels der Zähne kann die Stellung des Kopfes viel besser gesichert werden, als durch irgend welche Befestigung, welche nur die Weichtheile desselben unmittelbar unterstützt. Ein zweiter verstellbarer horizontaler Arm des Halters wird so festgeschraubt, daß die Stirn gegen ihn anliegt. Auf der Tafel wird dann, dem einen oder andern Auge gegenüber, ein passend gefärbter Streif aus sehr steifem Papier oder dünnem Holz befestigt, der in seiner Mitte mit einem Stechknöpfchen, und um dieses drehbar, befestigt wird. Den Streifen mache ich entweder halb weiß und halb schwarz, oder halb grün und halb roth, so daß die Trennungslinie beider Farben der Länge des Streifens parallel durch die Mitte seiner Breite hinläuft. Diese Trennungslinie giebt dann ein gut gezeichnetes Nachbild. Ferner werden feine schwarze Fäden horizontal und vertical über die Mitte des Streifens hingespant, und die Stellung des Zahnbrettchens so lange geändert, bis die Nachbilder des horizontalen Streifens längs des horizontalen Fadens verschoben diesem parallel bleiben, und ebenso die Nachbilder des vertical gestellten Streifens längs des verticalen Fadens. Dabei ist aber zu bemerken, daß die Gesichtslinien parallel gehalten werden müssen, und um dies zu controlliren, mache ich in der Entfernung meiner Augen von einander (68 Millimeter) Punkte auf den Stellen der Tafel, nach denen ich hinblicke, den einen dicht an der Linie, nach der ich hinblicke, den andern in gleicher Höhe seitwärts, so daß, wenn ich die beiden Punkte mit parallelen Gesichtslinien betrachte, sie sich scheinbar vereinigen.

Auf diese Weise kann man die Primärlage des einen oder andern Auges finden, — sie liegen bei mir um die Distanz der Augen selbst von einander entfernt, — dann kann man nachher dem Streifen, von dem das Nachbild genommen wird, beliebige schräge Richtungen geben, und Fäden über seine Mittellinie hinspannen, um längs dieser die Nachbilder zu verschieben. Um convergente Gesichtslinien zu haben, kann man, nachdem das Nachbild in einem Auge entwickelt ist, entweder einen Punkt der Tafel selbst mit beiden Augen fixiren, oder beliebige hingesezte Punkte mit convergenten oder überkreuzten Blicklinien zusammenfallen machen.

Wenn dann, wie bei Convergenzstellungen, die Nachbilder nicht genau mit dem Faden zusammenfallen, längs dessen Richtung man den Blick hinbewegt hat, so kann man den Streifen selbst schief gegen den Faden stellen, und diejenige Stellung desselben suchen, deren Nachbild dem betreffenden peripherischen Theile des Fadens parallel wird. Der Winkel zwischen dem Streifen und dem Faden läßt sich leicht berechnen, wenn

man den Abstand mißt, den der über den Streifen laufende Faden an beiden Enden desselben mit seiner Mittellinie macht. Oder bequemer, kann man auch gleich auf den beiden Enden des Streifens eine Gradeintheilung anbringen, die nur wenige Grade zu umfassen braucht.

Die Genauigkeit, mit welcher die Vergleichung der Richtung der Nachbilder mit der der Fäden geschieht, geht bis zu einem halben Grade etwa. Das ist freilich keine mit der von astronomischen Beobachtungen zu vergleichende Genauigkeit; aber ich glaube, es wäre bei der Natur des Gegenstandes illusorisch, nach einer sehr viel größeren Genauigkeit zu streben. Denn schon bei diesen Beobachtungen findet man gewisse kleine Veränderungen, die nicht bloß von der Convergenz, sondern auch von dem Wege abhängen, auf dem das Auge in die betreffende Stellung gebracht worden ist, und selbst an verschiedenen Tagen zu wechseln scheinen. Solche habe ich selbst nicht ganz selten gesehen, namentlich bei Schrägstellungen des Auges, noch deutlicher und größer waren sie bei Dr. BERTHOLD, der in meinem Laboratorium arbeitete, und ich vermuthete, daß sie überhaupt bei kurzsichtigen Augen größer sein werden, weil diese hauptsächlich auf nahe Gegenstände angewiesen, an diesen je nach dem Grade der Convergenz stärker wechselnde Raddrehungen bei derselben Richtung der Blicklinie einüben müssen.

Herr E. HERING hat Versuche zur Controlle der Genauigkeit der Nachbildversuche angestellt, aus denen er schließt, daß Irrthümer in der Vergleichung ihrer Richtung mit objectiven Linien vorkommen könnten, welche einen Spielraum bis zu 5 Grad hätten. Solche Irrthümer muß ich bei gut entwickelten Nachbildern nach scharfer Fixation des Objects für geradezu unmöglich erklären; ich habe schon vorher angeführt, daß bei sorgfältiger Anstellung der Versuche die Fehler einen halben Grad nicht überschreiten. Abweichungen von einem Grad, die ich an dem beschriebenen Apparat leicht absichtlich herstellen konnte, sind bei guter Ausführung des Versuchs sicher zu erkennen. Ich schliesse vielmehr aus den Versuchen von Hrn. E. HERING, daß sein Auge entsprechende Schwankungen in seiner Stellung ausgeführt hat, was namentlich dadurch bedingt sein kann, daß er das fixirte Object in 10 Zoll Entfernung vor sich hatte, und bei einäugiger längerer Betrachtung eines so nahen Objects starke Schwankungen der Convergenz vorkommen pflegen.

Die Methode der Nachbilder ist unter den bisher bekannten Methoden zur Bestimmung der Stellung eines jeden einzelnen Auges, unabhängig vom andern, die zuverlässigste, wenn sie gut eingeübt ist. Sie erfordert namentlich in der Form, wie ich sie oben beschrieben habe, nicht, — was mir von großem Gewicht zu sein scheint, — daß das Auge lange in peripherischen Stellungen verweile, sondern jeder einzelne Versuch ist schnell beendet.

Auch die Methode von WUNDT¹ benutzt die Nachbilder zur Bestimmung der Augenstellungen. Derselbe entwirft die Nachbilder auf eine verstellbare und gegen die Blicklinie immer senkrecht stehende Scheibe, die an einem beweglichen Hebelarm befestigt ist. Sein Apparat hatte Winkeltheilungen, um die oben als *Longitudo*, *Latitudo* bezeichneten Winkel und die Raddrehung des verticalen Meridians gegen die Verticallinie abzulesen.

Prüfung des Drehungsgesetzes mittels des blinden Flecks. Diese Methode erlaubt ebenfalls, die Stellung jedes einzelnen Auges ganz unabhängig vom andern zu bestimmen. Sie wurde zuerst von A. FICK² angewendet. An der grauen Wand eines geräumigen Zimmers war in der Höhe, in welcher sich das Auge des auf einem Stuhle sitzenden Beobachters befand, ein geeignetes kleines Fixationsobject angebracht, ein weißer Kreis mit schwarzem zackigen Rande. Für das Auge wurde ein etwas über 6 Meter entfernter Standort so gewählt, daß die Sehlinie, wenn sie das Object fixirte, die erwähnte Wand senkrecht traf. Unter diesem Standort waren am

¹ W. WUNDT, *Archiv für Ophthalmologie*, Bd. VIII, 2, S. 16 und 17.

² A. FICK, *Moleschott's Untersuchungen zur Naturlehre des Menschen*. V, 193—233.

Boden die Stellungen bezeichnet, welche die Füße des Stuhles haben mußten, wenn seine vordere Kante bestimmte Neigungen gegen die Wand haben sollte. Bei allen diesen Stellungen des Stuhles blieb die Mitte zwischen den hinteren Füßen an demselben Platze. FICK saß auf diesem Stuhle, den Rücken angelehnt, den Kopf gerade aus gerichtet, und fand, daß er auf diese Weise genügend sicher die Medianebene des Kopfes senkrecht zu der anderen Kante des Stuhles einstellte. Um die Neigung des Kopfes gegen die Horizontale zu beurtheilen, wurde ein hölzerner über den Kopf gehender Bügel mittels zweier Schrauben in den Gehörgängen befestigt und ein von seiner Mitte herabgehender gebogener Eisenstab auf die Nasenwurzel gestützt. Der Bügel hatte somit eine feste Lage zum Kopfe. An der in das linke Ohr gehenden Schraube hing ein Loth, das vor einem mit dem Bügel fest verbundenen Gradbogen spielte. So konnte die Neigung des Kopfes oder einer in der Medianebene gedachten Geraden gegen den Horizont bestimmt werden.

An der Wand war ein Blatt grauen Cartons drehbar um einen Stift im Fixationspunkte befestigt. Mittels einer über eine Rolle laufenden Schnur konnte der Beobachtende den Carton drehen. Auf diesem war ein schwarzer Fleck gemalt, in einer solchen Entfernung, daß er bei passender Einstellung in den blinden Fleck fiel. Ein Gehülfe las die Neigung des Kopfes ab, und wenn eine bestimmte Neigung hergestellt war, stellte sich der Beobachter mittels der Schnur den Carton so, daß der schwarze Fleck verschwand. An einer Tangentenskala konnte die Drehung des Cartons abgelesen werden. So wurde bestimmt, um wie viel das Auge gegen seine Anfangsstellung gedreht war. Die Drehung des Stuhles maß den als *Longitudo* bezeichneten Winkel, der Gradbogen am Ohr die *Latitudo*. Es kamen bei Wiederholung der Versuche Differenzen der Raddrehungswinkel vor bis zu 3 Grad; wenn man die Stifte, die in die Ohren gesteckt waren, mit der Lehne des Stuhles fest verbände und einen recht hellen weißen Fleck auf dunklem Grunde gebrauchte, der der Projection des blinden Flecks an Größe und Gestalt genau entspräche, würde sich vielleicht eine größere Genauigkeit dieser Methode erreichen lassen.

521

MEISSNER¹ hat den Kopf festgestellt und das Gesichtszeichen, auf welchem sich der dunkle Fleck befand, bewegt. Der Kopf wurde zu dem Ende passend so festgestellt, daß sich das Auge in dem Mittelpunkte eines verticalen halben Gradbogens von 10 Zoll Radius befand, der um seine verticale Axe um einen zu messenden Winkel gedreht werden konnte (FICK's *Longitudo*, MEISSNER's *Latitudo*). An dem Gradbogen verschieblich, um einen Winkel, der abgelesen werden konnte (FICK's *Latitudo*, MEISSNER's *Longitudo*), befand sich ein Schieber, der an seiner dem Centrum zugekehrten Seite, um eine eben dahin gerichtete Axe drehbar, die Scheibe mit dem dunklen Flecke trug. MEISSNER's Resultate sind in der hier folgenden Tabelle zusammengestellt; und zwar ist der unmittelbar abgelesene Winkel, der dem k' der Gleichung 4e) entspricht, angegeben.

		Nasenwärts				Schläfenwärts		
		+30°	+20°	+10°	0°	-10°	-20°	-30°
Gehoben	- 30°	- 3°	0°	+ 2°	0°	+ 3°	+ 6°	+10°
	- 15°	+ 0°,5	+ 1°,5	+ 2°,5	0°	+ 1°,5	+ 3°	+ 5°
	0°	+ 7°	+ 5°	+ 4°	0°	0°	0°	0°
	+ 15°	+12°,5	+ 8°,5	+ 5°	0°	- 1°,5	- 2°,5	- 5°
Gesenkt	+ 30°	+19°	+13°	+ 7°	0°	- 3°	- 6°	- 9°,5
	+ 35°	+20°,5	+14°	+ 7°,5	0°	- 3°	- 7°	-10°
	+ 40°	+20°,5	+14°	+ 7°	0°	- 3°	- 7°,5	-11°
	+ 45°	+21°	+14°,5	+ 7°	0°	- 3°	- 8°	-12°
	+ 50°	+21°,5	+14°,5	+ 7°	0°	- 3°	- 8°,5	-13°

¹ MEISSNER, *Zeitschrift für rationelle Medizin*. Reihe 3, Band VIII.

Der ziemlich unregelmäßige Gang der Werthe macht es wahrscheinlich, daß Convergänzänderungen, die bei einäugiger Fixirung eines sehr nahen Objects schwer zu vermeiden sind, Einfluß gehabt haben. MEISSNER selbst betrachtet seine Versuche als annähernd übereinstimmend mit dem Gesetze von LISTING, glaubt aber, daß für die nasenwärts gerichteten Stellungen eine andere Primärlage zu nehmen sei, die unter 45° gegen die Horizontale nach unten gerichtet ist, für die nach außen gewendeten Stellungen dagegen liege die Primärlage in der Horizontalebene selbst. Um dieses Verhältniß herauszutreten zu lassen, hat er die Versuche noch einer Umrechnung unterworfen.

Von Fick's Versuchen habe ich die Mittelwerthe in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

<i>Longitudo</i>	<i>Latitudo</i>										
	-33°	-30°	-28°	-14°	-11°	-6°	0°	+1°	+4°	+18°	+45°
-29°			-4°,7								
-26°					+3°,5						
-21°									+1°,5		
-14°		-2°								+5°,7	
-13°				+2°,5							
-10°								+2°			
0°	+2°,5						0°				+0°,1
+10°								+0°,1			
+13°				+1°,7						-1°,8	
+14°		-4°,7									
+21°									-0°,3		
+26°					+3°,4						
+29°			+7°,5								
+38°						+2°,9				-3°,3	

522 Prüfung der Augenstellungen mittels der Vergleichung correspondirender Bilder beider Augen. Die hierher gehörigen Methoden lassen, wie es scheint, eine viel größere Genauigkeit zu, als die Methode der Nachbilder; sie können aber nur dazu dienen, die Stellungen beider Augen mit einander zu vergleichen, nicht die Stellung eines jeden einzelnen Auges zu finden. Sie sind deshalb sehr brauchbar, um die kleinen individuellen Abweichungen der Bewegungen vom LISTING'schen Gesetze zu finden. Auch kommt es in gewissen Fällen, namentlich für die Theorie des binocularen Sehens gerade wesentlich darauf an, die Differenzen in der Stellung beider Augen zu finden.

Die erste Anwendung dieser Methoden rührt von MEISSNER¹ her. Er machte darauf aufmerksam, daß, wenn man einen gerade vor sich und normal zur Blickebene gehaltenen Draht so betrachte, daß man die Augen auf einen nahe vor oder nahe hinter dem Drahte gelegenen Punkt convergiren lasse, der Draht der Regel nach nicht in parallelen Doppelbildern erscheine, sondern in solchen, die eine gewisse Neigung gegen einander haben, und daß man den Draht selbst gegen die Visirebene neigen müsse, um ihn in parallelen Doppelbildern zu sehen. Aus der Lage des Drahtes gegen die Visirebene ergab sich dann leicht die Stellung, welche die verticalen correspondirenden Meridiane beider Augen haben, und daraus kann man die Raddrehung des Auges wenigstens für die medianen Lagen des Convergenzpunktes ableiten. MEISSNER fand durch die nach dieser von ihm sehr sinnreich erdachten Methode ausgeführten Untersuchungen im Wesentlichen das Gesetz von LISTING bestätigt, wenn auch gewisse Fehlerquellen, die erst durch spätere Untersuchungen aufgefunden wurden, gewisse Correctionen seiner Resultate

¹ G. MEISSNER, *Beiträge zur Physiologie des Sehorgans*, 1851.

nöthwendig machen möchten. Erstens nämlich kannte er noch nicht den Unterschied der scheinbar verticalen Meridiane des Auges von den wirklichen, und glaubte, der früher allgemein gemachten Annahme entsprechend, daß unendlich entfernte Verticallinien sich auf identischen Meridianen beider Augen abbilden müßten, was bei den meisten Augen nicht der Fall ist. Zweitens kannte er nicht den von VOLKMANN aufgefundenen Einfluß der Convergenz auf die Raddrehungen jedes einzelnen Auges. Auch kann wohl die Beurtheilung des Parallelismus der Doppelbilder durch den Umstand beeinträchtigt werden, daß das eine Ende des Drahtes den Augen bald um eine größere, bald um eine kleinere Strecke näher ist, was der Beobachter weiß und wahrnimmt, und daß dadurch die Anschauung des Parallelismus der Doppelbilder als zweier geneigter körperlichen Linien sich einstellen kann, statt der Anschauung ihres Parallelismus im Gesichtsfelde, auf die es ankommt.

Es möchte deshalb die von VOLKMANN¹ gemachte Abänderung des Verfahrens von MEISSNER zweckmäßiger sein: VOLKMANN hat an einer vor den Augen gelegenen senkrechten Wand zwei Drehscheiben so angebracht, daß der Drehpunkt einer jeden in der Blicklinie des bezüglichen, auf unendliche Ferne gerichteten Auges liegt. Auf jeder Scheibe ist eine feine Linie verzeichnet, welche das Centrum der Scheibe schneidet und also mit der Umdrehung dieser ihre Lage ändert. Zur Bestimmung der Lagenveränderung ist im Umkreise der Scheibe ein Gradmesser angebracht. Der Beobachter betrachtet die beiden auf den Scheiben verzeichneten Linien unter minimaler Convergenz der Augen, so daß er sie in wenig distanten Doppelbildern sieht, und sucht diese Doppelbilder durch Drehung der einen Scheibe parallel zu stellen.

Durch häufige Wiederholung solcher Einstellungen kann man sehr genaue Mittelwerthe erlangen. VOLKMANN hat diese Methode zwar nicht für verschiedene Kopfstellungen angewendet, um Schlüsse über die Bewegungen zu machen, aber sie läßt sich dazu anwenden, wenn man die Scheiben bei verschiedenen Kopfstellungen betrachtet.

VOLKMANN'S Apparat läßt sich, wie ich gefunden habe, hierfür noch zweckmäßig vereinfachen. Für die Prüfung der Parallelstellungen meiner eigenen Augen habe ich an einer verticalen Holztafel zwei durch kleine Gewichte gespannte Fäden aufgehängt, einen weißen vor schwarzem Grunde und einen schwarzen vor weißem Grunde. Die Entfernung der Stifte, an denen die Fäden hingen, wurde so gewählt, daß bei den Beobachtungen die fixirten Mittelpunkte der Fäden die Distanz meiner Augen, 68 Millimeter, hatten. Nach unten hin lehnten sich die Fäden an zwei Nadeln, die in das Holz eingesteckt waren und die Fäden etwas convergiren machten. Hinter der Mitte der Fäden, die zu fixiren war, war eine horizontale Linie gezogen, gerade in der Höhe meiner Augen. Die Fäden wurden mit parallel gerichteten Gesichtslinien betrachtet, wobei sie in denselben Ort des gemeinschaftlichen Sehfeldes zu liegen kommen, und die Nadel am unteren Ende des einen wurde so lange verschoben, bis sich die Fäden nicht mehr kreuzten, und bei schwacher Convergenz nicht mehr in divergenten, sondern in parallelen Bildern erschienen. Dadurch daß man den Fäden verschiedene Farbe giebt, läßt sich ihre Congruenz im Gesichtsfelde besser beurtheilen, als wenn sie gleichfarbig sind, wobei sie leicht stereoskopisch verschmelzen, selbst wenn sie sich durchaus noch nicht decken. Wenn man sie als nahe Doppelbilder sieht, so erscheinen ihre Mitten getrennt und ihre Enden vereinigt. Man muß dann darauf achten, daß die Vereinigung nach oben und nach unten hin in derselben Weise vor sich geht.

Indem ich den Kopf vornüber und hintenüber neigte, konnte ich diese Versuche mit parallel gesenkten und parallel gehobenen Gesichtslinien wiederholen, und fand in der That kleine Abweichungen von dem durch LISTING'S Gesetz hierbei geforderten vollkommenen Parallelismus ihrer Stellungen, so daß der Winkel der scheinbar verticalen Meridiane bei parallel bis zur oberen Grenze des Blickfeldes gehobenen Blicklinien um $0^{\circ},3$ größer ist als bei parallelem tiefsten Stande der Blicklinien, und sich hierbei im ersteren Fall das obere Ende des verticalen Meridians jedes Auges um $0^{\circ},15$ mehr nach

¹ A. W. VOLKMANN, *Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik*. Leipzig, 1864. Heft 2, S. 199–240.

aussen gedreht findet, als in der zweiten Stellung. Bei späteren Wiederholungen dieser Versuche fand ich es noch vortheilhafter, dem einen Auge als Object einen geradlinig begrenzten rothen Streifen von 3 Millimeter Breite, dem andern einen blauen Faden, beide auf schwarzem Grunde, zu zeigen. Der Faden muſs in der Mitte des rothen Streifens erscheinen.

VOLKMANN selbst hat seine Versuche über die Augenstellungen nach einer Abänderung dieser Methode ausgeführt. Nämlich statt der Drehscheiben mit Durchmessern wendete er solche mit je einem ausgezogenen Radius an, und bemühte sich bei binocularer Betrachtung diese Radien scheinbar in eine gerade Linie zu stellen. Der Kopf wurde dabei passend festgestellt; die Drehscheiben wurden in zwei dunkle Röhren eingesetzt, welche mittels passender Gelenke beliebig gerichtet werden konnten, so daſs jedes Auge durch je eine Röhre auf eine Drehscheibe hinsah, und dieselbe immer senkrecht zur Blicklinie des Auges eingestellt blieb.

Versuche mit parallelen Gesichtslinien angestellt ergaben, daſs die Abweichungen beider Augen von der durch das LISTING'sche Gesetz geforderten Congruenz bei VOLKMANN's Augen sehr gering sind. Beim Blicke gerade nach oben oder nach unten, gerade nach rechts oder links von einer Stellung aus, welche VOLKMANN mittels Nachbildversuchen als Primärstellung gefunden hatte, ergaben die Versuche gar keine Differenz. Richtungen der Blicklinie schräg nach oben oder unten dagegen gaben kleine Abweichungen. Die folgenden Zahlen sind Mittelzahlen aus je 60 Beobachtungen, wobei in je 30 der bewegliche Radius dem rechten, in je 30 anderen dem linken Auge angehörte, und geben die Kreuzungswinkel der scheinbar eine senkrechte gerade Linie bildenden Radien

Primärstellung:	2°21
30 Grad nach oben rechts:	2°74
Ebenso weit nach oben links:	2°92
Ebenso nach unten links:	1°31
Ebenso nach unten rechts:	1°41.

Die größte Abweichung von dem Winkel der Primärstellung ist 0°9, was für jedes Auge bei gleichmäßiger Vertheilung des Fehlers 0°45 geben würde, eine Größe, die durch Versuche mit Nachbildern allerdings nicht mehr zu entdecken sein würde.

524 VOLKMANN fand ferner nach derselben Methode, daſs bei Convergenz auf einen 30 Centimeter entfernten Punkt in der Horizontalebene der Winkel der scheinbar verticalen Meridiane von 2°15 bis auf 4°16 stieg, so daſs sich jedes Auge dabei um etwa einen Grad drehte, was bei derselben Richtung der Gesichtslinie und paralleler Stellung der anderen Gesichtslinie nicht der Fall gewesen sein würde.

Ich finde an meinen eigenen Augen eine sehr kleine Abweichung bei der Convergenz, aber in demselben Sinne wie VOLKMANN. Die Beobachtung geschah mittels eines feinen schwarzen Fadens, dessen Mitte durch ein Nadelöhr gezogen war. Die Nadel war in dem ebenen Felde einer weiß angestrichenen Thür in der Höhe meiner Augen befestigt, die Enden des Fadens waren über zwei andere in gleicher Höhe befestigte Nadeln geleitet und durch Gewichte gespannt. Der Faden bildete also zwei gerade Linien, die in dem Nadelöhr unter einem veränderlichen Winkel zusammenstieſen. Je nachdem man die seitlichen Nadeln etwas höher oder tiefer einsteckte, konnte man diesen Winkel nach oben oder nach unten sich öffnen lassen. Die beiden Schenkel des Winkels blieben dabei immer in einer der Thürfläche parallelen Ebene. Wenn ich mit parallelen Gesichtslinien sehen wollte, hielt ich vor die mittlere Nadel einen senkrechten Streifen steifen Papiers von 68 Millimeter Breite. Bei parallelen Blicklinien treffen dann die noch sichtbaren seitlichen Theile der Fäden scheinbar in der Mitte zusammen und bilden einen Winkel. Ich veränderte die Stellung der Nadeln so lange, bis mir dieser Winkel gleich zwei Rechten erschien, also seine beiden Schenkel in eine gerade Linie fielen. Dann fixirte ich das Ohr der Nadel aus 20 Centimeter Entfernung, während ich zwischen meinem Nasenrücken und der Nadel ein Blatt Papier so anbrachte, daſs ich mit jedem Auge nur die gleichseitige Hälfte des Fadens sehen konnte. Wenn die Fixation auch in der

Primärstellung der Visirebene geschah, erschien mir der Faden doch nicht mehr geradlinig, sondern ich mußte die eine Hälfte desselben etwas senken, damit er wieder geradlinig erschien. Die der Convergenz auf 20 Centimeter entsprechende Drehung jedes meiner Augen würde hiernach 17 Minuten ($0^{\circ},28$) betragen, während sie bei VOLKMANN $1^{\circ},37$ betrug.

Bei VOLKMANN ist diese Drehung stark genug, daß er sie an dem Nachbilde einer gefärbten verticalen Linie wahrnehmen kann, welche er mit einem Auge bei parallelen Blicklinien fixirt hat, wenn er das Nachbild nachher mit convergenten Blicklinien dicht neben die Linie entwirft. Dasselbe gelang auch Prof. WELCKER bei VOLKMANN. Ganz ähnliche Versuche hatte übrigens auch J. B. SCHURMAN¹ angestellt mit negativem Erfolge, während Prof. DONDERS bei angestrenzter Convergenz Drehungen von 1° bis 3° bemerkte, in demselben Sinne wie VOLKMANN und ich. Viel deutlichere Abweichungen, durch Convergenz bewirkt, bemerkte ich, wie schon oben gesagt ist, bei der Untersuchung der Nachbilder in peripherischen Stellungen der Blicklinie.

Bestimmungen der Ansatzpunkte und Drehungsaxen für die Augenmuskeln. Die Wirkung dieser Muskeln ergibt sich leicht aus ihrer Lage und Befestigung. Da ihre Sehnen alle eine Strecke über den Augapfel hin verlaufen und sich seiner Wölbung anlegen, wie Bänder, welche über eine Rolle laufen, so üben alle diese Muskeln einen Zug auf den Augapfel in tangentialer Richtung aus. Um die Richtung dieses Zuges genauer zu bestimmen, muß man durch den Punkt, wo sich die Sehne anlegt, eine Tangente an den Augapfel legen, welche für den oberen schiefen Augenmuskel nach dessen Sehnenrolle hin zu ziehen ist, für die übrigen Muskeln dagegen nach ihrem knöchernen Ursprunge hin.

Da der Augapfel in seiner natürlichen Befestigung nur Drehungen um seinen Mittelpunkt ausführt, so haben wir die Wirkung der Muskeln auch nur insofern zu beachten, als dadurch solche Drehungen entstehen. Wird ein Körper, der frei um einen Punkt drehbar ist, wie der Augapfel, durch eine Kraft excentrisch angegriffen, so findet man die Richtung der daraus entstehenden Drehung, wenn man durch die Richtung der Zugkraft und durch den Drehpunkt eine Ebene legt und im Drehpunkt auf dieser ein Loth errichtet. Dieses Loth ist die Axe der betreffenden Drehung. Die Richtung des Zuges ist, wie wir gesehen haben, bestimmt durch den Punkt, wo sich die Sehne an den Muskel legt, und den Punkt, wo der Muskel (oder beziehlich seine Sehnenrolle) am Knochen festsetzt. Durch diese beiden Punkte und den Drehpunkt des Auges ist also jedesmal die Lage der zur Drehungsaxe normalen Ebene bestimmt. Wenn man also die Lage jener drei Punkte geometrisch bestimmt, läßt sich daraus die Lage der Drehungsaxe finden.

525

Solche geometrische Bestimmungen sind von RUETE² und A. FICK gemacht worden. RUETE nahm zuerst die Schädeldecke durch einen Sägenschnitt nahe über der Orbita weg, stellte dann den Kopf so auf, daß er die Stellung hatte, die er im Leben bei aufrechter Stellung zu haben pflegt. Darauf wurde ein Sägenschnitt in der Mitte zwischen beiden Augenhöhlen perpendicular durch das *Os frontis*, durch die Mitte der *Crista galli*, der *Sella turcica* und den Rücken der Nase so tief heruntergeführt, daß er einen geraden, vorn überstehenden Draht fest einlegen konnte, in einer Richtung, die mit den gerade nach vorn und horizontal gewendeten Sehaxen parallel stand, um sich später nach dieser Linie orientiren zu können. Darauf wurden beide Augen bis zur normalen Spannung aufgeblasen, dann horizontal parallel gerichtet und durch jedes Auge ein feiner, sehr zugespitzter Stahldraht in der Richtung der optischen Axe bis hinten in den Knochen der Orbita langsam rotirend durchgestoßen, um die Augen in ihrer Lage zu fixiren. Um die Lage der Augen noch mehr zu sichern, wurde in einigen Fällen auch noch eine Decke von Gyps über die geschlossenen Augenlider gegossen.

Darauf wurden die Augenhöhlen vorsichtig von oben geöffnet und die Ursprünge

¹ J. B. SCHURMAN, *Vergelijkend Onderzoek der Beweging van het Oog*; *Academisch Proefschrift*. Utrecht 1863.

² RUETE, *Ein neues Ophthalmotrop*. Leipzig 1857.

und Insertionen der Muskeln sorgfältig frei präparirt, ohne von dem dazwischenliegenden Fett mehr wegzunehmen, als zur Darstellung der genannten Punkte nöthig war. Die Winkel, welche die Muskeln mit der optischen Axe bildeten, wurden dadurch gemessen, dafs winkelig gebogene Drähte angelegt wurden. Die Abstände der Ursprünge und Insertionen der Muskeln vom Mittelpunkt der Augen nach oben und unten, nach rechts und links, nach hinten und vorn mafs er mit dem Zirkel. Die Messungen wurden von drei Beobachtern wiederholt.

In letzterer Beziehung möchte es indessen wohl vorzuziehen sein, die Entfernungen der Muskel-Ursprünge und Ansätze, des Scheitels der Hornhaut und des Sehnerveneintritts von drei festen Punkten zu messen, wie FICK gethan hat, und danach die Coordinaten und die Lage des Mittelpunkts des Augapfels zu berechnen, da die Lage des letztern anatomisch nicht charakterisirt ist, und directe Messungen des senkrechten oder horizontalen Abstandes zweier nicht genau senkrecht oder horizontal neben einander liegender Punkte mit dem Zirkel ziemlich unsicher bleiben müssen. Im Mittel aus den Messungen an vier Köpfen giebt RUEBE folgende Werthe in Millimetern, wobei die x vom Mittelpunkt des Auges horizontal nach aufsen, die y nach hinten, die z senkrecht nach oben gehen.

	Ansätze			Ursprünge		
	x	y	z	x	y	z
Rectus superior	+ 2,00	- 5,667	+ 10	- 10,67	+ 32	+ 4
„ inferior	+ 2,20	- 5,767	- 10	- 10,8	+ 32	- 4
„ externus	+ 10,80	- 5,00	0	- 5,4	+ 32	0
„ internus	- 9,90	- 6,00	0	- 14,67	+ 32	0
Tendo obliqui superioris	+ 2,00	+ 3,00	+ 11	- 14,1	- 10	+ 12
Obliquus inferior	+ 8,00	+ 6,00	0	- 8,1	- 6	- 15

Durchmesser des Auges = 24 Mm.

Die Angaben von A. FICK sind folgende :

	Ansätze			Ursprünge		
	x	y	z	x	y	z
Rectus superior	0	- 7,9	+ 9,1	- 16	+ 31	+ 6,5
„ inferior	0	- 7,9	- 9,1	- 17	+ 30	+ 2
„ externus	+ 9,1	- 7,9	0	- 15	+ 31	+ 2
„ internus	- 9,1	- 7,9	0	- 18	+ 30	+ 4
Obliquus superior	+ 4,6	+ 2,7	+ 9,9	- 19,6	- 10,9	+ 12,8
„ inferior	+ 10,4	+ 6,0	0	- 18	+ 30 (?)	+ 6
Sehnerveneintritt	+ 3,4	+ 11,5	0			
Scheitel der Cornea	0	- 12	0			

526

Die Werthe von y und z für den Ursprung des *Obliquus inferior* müssen, wie RUEBE schon bemerkt hat, fehlerhaft sein; beide sind nämlich jedenfalls negativ.

Die Lage der Drehungsaxen hat RUEBE aus seinen Coordinatenmessungen berechnet und giebt folgende Werthe für die Winkel a, b, c , welche die (nach unserer Bezeichnung negative) Drehungshalbaxe mit den Richtungen beziehlich der positiven x, y und z macht:

	a	b	c
R. internus	90°	90°	180°
R. externus	90°	90°	0°
R. superior	161½°	109½°	90°
R. inferior	19°	71°	90°
Obl. superior	51°	141°	84½°
Obl. inferior	127°	37°	90°

Wie die Drehungen um verschiedene Axenpaare sich zusammensetzen, ist oben erörtert worden; da die Anschauung dieser Verhältnisse schwer übersichtlich zu machen ist, hat RÜETE¹ zuerst unter dem Namen Ophthalmotrop ein drehbares Modell der beiden Augen construiert, an welchem die Muskeln durch entsprechend gezogene Fäden dargestellt sind, die durch Federn gespannt werden, und deren Verschiebungen man an einer Skale ablesen kann. Zur Versinnlichung der Vorgänge wird in der Regel die von KNAPP vereinfachte Form des Instruments genügen, welche in Fig. 211 dargestellt ist. Die beiden künstlichen Augäpfel sind mittels eines Kugelgelenks um ihren Mittelpunkt drehbar; der Aequator, die Hornhaut, der verticale und horizontale Meridian sind auf ihnen angegeben, und starke seidene Fäden verschiedener Farbe an denjenigen Stellen befestigt, wo sich die Muskeln am Augapfel befestigen. Damit die Fäden die Richtung der Muskeln erhalten, sind vier von ihnen, welche den vier geraden Augenmuskeln entsprechen, durch vier nahe neben einander liegende Löcher des Brettchens *A* gezogen, und hängen hinter dem Brettchen durch Gewichte ausgespannt herab. Zwei von den Fäden aber, die den beiden schiefen Augen-

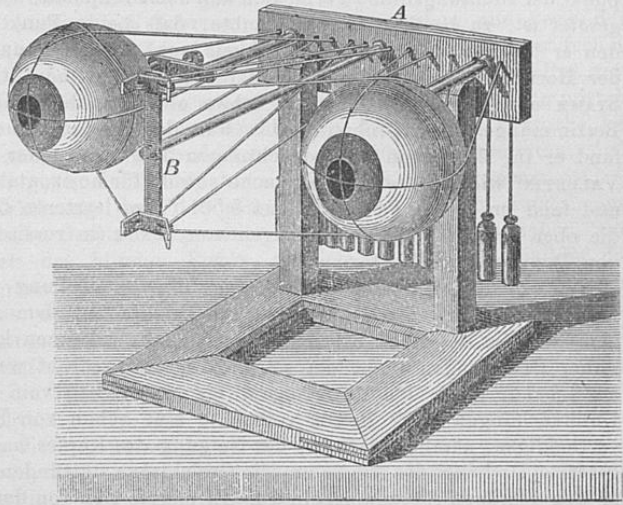


Fig. 211.

muskeln an jedem Auge entsprechen, sind über die kleinen Rollen am oberen und unteren Ende des verticalen Messingbalkens *B* gezogen und dann um die Rollen herum nach der Mitte des Brettchens *A* geleitet, wo sie ebenfalls durch Löcher gehen und durch Gewichtchen gespannt sind. Die gleichnamigen Muskeln beider Augen sind durch gleichfarbige Fäden dargestellt. Macht man nun mit einem oder beiden Augäpfeln eine beliebige Drehung, so werden diejenigen Fäden angezogen, welche Muskeln entsprechen, die bei der betreffenden Bewegung des Auges gedehnt werden, und also der Bewegung widerstehen würden. Umgekehrt werden diejenigen Fäden nachlassen und ihre Gewichte sinken, deren entsprechende Muskeln am Auge sich bei den betreffenden Bewegungen verkürzen, und die also im Stande sind, die Bewegung hervorzubringen oder zu unterstützen. Indem man also darauf achtet, welche Gewichte und um wie viel sie herabsteigen, kann man unmittelbar sehen, welche Muskeln und mit welcher Intensität etwa in Thätigkeit versetzt werden müssen, um die betreffende Bewegung hervorzubringen. Für Demonstrationen und namentlich um schnell eine Uebersicht über die oft sehr verwickelten Verhältnisse der pathologischen Abweichungen zu gewinnen, ist der Apparat sehr geeignet.

Ein anderes Ophthalmotrop hat WUNDT² construiert, an welchem die Fäden mit Spiralfedern verbunden sind, deren Kraft und Länge denen der Augenmuskeln möglichst proportional gemacht worden sind, und an welchem der Augapfel von selbst die den Versuchen von WUNDT über die Augenstellungen entsprechende Richtung an-

¹ Ein neues Ophthalmotrop. Leipzig 1857. — Das Ophthalmotrop, dessen Bau und Gebrauch. Göttingen 1845, aus dem ersten Bande der Göttinger Studien.

² W. WUNDT, Archiv für Ophthalmologie, VIII. 2. 88.

nimmt, wenn seine der Blicklinie entsprechende Axe in die verlangte Stellung übergeführt wird. WUNDT hat dies Modell namentlich zur Erläuterung seines Princips von der geringsten Anstrengung benutzt, aus welchem er das Gesetz der Augenbewegungen herleitete.

Historisches. Die ersten Untersuchungen über Bewegung der Augen bezogen sich auf die Lage des Drehpunkts. JOH. MÜLLER¹ meinte noch, daß der Drehpunkt des Auges in der Mitte seiner Hinterfläche liegen müßte, eine Meinung, die auch von TOURTUAL² und SZOKALSKY³ vertheidigt wurde. VOLKMANN⁴ suchte mittels seines Gesichtswinkelmessers den Kreuzungspunkt der Richtungslinie zu ermitteln und den Drehpunkt, wie oben S. 111 schon auseinandergesetzt ist, zu bestimmen; er glaubte, daß beide Punkte zusammenfielen; der Punkt, den er bestimmte, war in Wirklichkeit wohl der Drehpunkt, der nach ihm 5,6'' hinter der Hornhaut liegen sollte. Der daran sich knüpfende Streit mit MILE, KNOCHENHAUER, STAMM und BUROW ist ebenfalls schon oben erwähnt. Der Letztere machte genauere Bestimmungen des Drehpunktes.⁵ Für den Abstand dieses Punktes von der Hornhaut fand er im Mittel von 40 Beobachtungen 5,42'' mit einer größten Abweichung von 0,8'' VALENTIN⁶ wiederholte diese Versuche, sowohl für horizontale, als für verticale Bewegungen, und fand im ersten Fall im Mittel 5,501'', im letzteren 5,08''. Sehr viel später folgten die oben erwähnten Untersuchungen von JUNGE (in russischer Sprache veröffentlicht) und von DONDERS und D. DOIJER.⁷

Auch die Untersuchungen über die Raddrehung hat JOH. MÜLLER begonnen.⁸ Er sagt, daß er mittels verschiedener Punkte auf dem Augapfel, die er mit Tinte auf dem Weissen desselben bezeichnet hatte, habe erkennen können, daß das Auge während seiner Bewegungen nicht um seine Längsaxe gedreht werde. Diese Meinung blieb die herrschende unter den Physiologen, bis eine Arbeit von HUECK⁹ den Anstofs zu vielen Untersuchungen gab. HUECK versuchte eine schon von HUNTER geäußerte Meinung zu vertheidigen, nämlich daß bei der Neigung des Kopfes nach der Schulter eine entgegengesetzte Drehung des Auges um die Gesichtsaxe stattfinden sollte. Diese Drehung schreibt er den schrägen Augenmuskeln zu. Er meinte sich von der Richtigkeit seiner Behauptung überzeugt zu haben, indem er sowohl bei sich selbst, wie bei anderen, die Verschiebungen der Conjunctival-Gefäße bei Bewegungen des Kopfes beobachtete.

Die von HUECK aufgestellten Behauptungen wurden von den meisten Physiologen als richtig angenommen. Obgleich TOURTUAL¹⁰ mit Recht bemerkte, daß die Axendrehung für die Functionen des Gesichtes durchaus nicht nothwendig sei, und obgleich RITTERICH und RUETE Widerspruch gegen die Thatsache erhoben, so wurde die Meinung von HUECK doch von TOURTUAL, BUROW,¹¹ VALENTIN,¹² KRAUSE¹³ und VOLKMANN¹⁴ vertheidigt. TOURTUAL selbst überzeugte sich schon, indem er die Stellung des blinden Flecks untersuchte, daß die scheinbare Drehung des Auges im Kopfe wenigstens nicht zureiche, um die Orientirung der Meridiane des Auges ganz unverändert zu lassen. RUETE¹⁵ bewies mittels der Nachbilder, daß eine Drehung des Auges bei Neigungen des Kopfes (und unveränderter Stellung des Auges im Kopfe) überhaupt nicht eintrete. DONDERS¹⁶

¹ J. MÜLLER, *Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns*. Leipzig 1826. S. 254.

² TOURTUAL, *Müller's Archiv* 1840. S. XXIX.

³ SZOKALSKY, C. R. 1843.

⁴ VOLKMANN, *Neue Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinns*. 1836. S. 33.

⁵ BUROW, *Beiträge zur Physiologie und Physik des menschlichen Auges*. 1842.

⁶ VALENTIN, *Lehrbuch der Physiologie des Menschen*, Bd. II, 1844.

⁷ *Archiv für die Holländischen Beiträge zur Natur- und Heilkunde*. 1863, III. 560.

⁸ JOH. MÜLLER, *Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns*. 1826, S. 254.

⁹ HUECK, *Die Achsendrehung des Auges*. 1838.

¹⁰ TOURTUAL, *Müller's Archiv* 1840, S. LV und LIV; 1846, S. 346.

¹¹ BUROW, *Beiträge zur Physiologie des Auges*. S. 8.

¹² VALENTIN, *Repertorium* 1842. S. 407. *Lehrbuch der Physiologie* II, 332.

¹³ KRAUSE, *Handbuch der Anatomie*. 1843, S. 550.

¹⁴ VOLKMANN, Artikel Sehen in *Wagner's Handwörterbuch*. S. 273.

¹⁵ RUETE, *Lehrbuch der Ophthalmologie*, S. 14. *Das Ophthalmotrop* 1846, S. 9.

¹⁶ DONDERS, *Nederlandsch Lancet*. 1846 August. *Holländische Beiträge zu den anat. und physiol. Wissenschaften*. 1848. I, 105—145; 384—386.

benutzte diesen Gedanken von RUETE zu einer eingehenderen Prüfung des Gegenstandes. Er wies zunächst nach, wodurch HUECK bei seinen Beobachtungen getäuscht worden war; daß er nämlich nicht hinreichend darauf geachtet hatte, die Stellung des Auges im Kopfe unverändert zu erhalten, während er die Stellung des Kopfes selbst änderte, und daß die von ihm beobachteten Drehungen von dem ersteren, nicht vom letzteren Umstande abhängen. Er fand ferner, daß die Nachbilder verticaler Objecte bei rein horizontalen und rein verticalen Bewegungen der Augen parallel bleiben, aber bei schräg seitlich gerichteten Hebungen und Senkungen sich schräg stellen. Ein bestimmtes Gesetz für die Größe dieser Schiefstellung hat er nicht aufgestellt.

Ein solches Gesetz war indessen von LISTING¹ aufgestellt worden, und zwar dasjenige, welches für die meisten normalsichtigen Augen in der That sehr genau zutreffen scheint. Er hat aber keinen Beweis dafür gegeben und es nicht einmal selbst veröffentlicht. MEISSNER² unterwarf dieses Gesetz zuerst einer empirischen Prüfung mittels der Methode der Doppelbilder und fand es im Wesentlichen durch seine Versuche bestätigt; er suchte die Bedeutung des LISTING'schen Gesetzes daraus herzuleiten, daß dasselbe den größten Horopter gebe, ein Punkt, der weiter unten zu besprechen ist.

Nach einer anderen Erklärung des Raddrehungsgesetzes suchten FIOCK³ und WUNDT⁴, die auf das LISTING'sche Gesetz weiter keine Rücksicht genommen haben, und von denen der erstere mittels des blinden Flecks, der letztere durch Nachbilder die Stellungen seines Auges bestimmte. Sie waren der Ansicht, daß der Augapfel denjenigen Grad der Raddrehung annehme, der es erlaube, die verlangte Richtung der Gesichtslinie mit der kleinsten Muskelanstrengung herzustellen. Dieser Satz ist höchst wahrscheinlich richtig, obgleich unsere Kenntniß der Bedingungen, von denen die Muskelanstrengung abhängt, noch nicht genügt, die Berechnung auf sicheren Grundlagen durchzuführen. WUNDT hat auch eine Art Ophthalmotrop, ein Modell des um einen Punkt drehbaren Auges hergestellt, an welchem die Augenmuskeln durch Messingfedern von entsprechender Länge und Stärke ersetzt waren, und an dem die Drehungen des Augapfels für die verschiedenen Lagen der Gesichtslinie den Beobachtungen von WUNDT an seinen eigenen Augen ziemlich gut entsprechend eintreten.

In Anbetracht des Umstandes aber, daß die Stärke der Muskeln selbst während des individuellen Lebens den von ihnen verlangten Leistungen sich anpaßt, schien mir dies Princip, selbst wenn es sich als factisch richtig bewähren sollte, nicht den eigentlichen letzten Grund des Gesetzes enthalten zu können. Ich fand bei der Prüfung des LISTING'schen Gesetzes mit Hilfe von Nachbildern dieses für meine eigenen Augen und für die einiger anderer normalsichtiger Beobachter mit großer Genauigkeit zutreffend; dasselbe bestätigte die Prüfung mit Doppelbildern für mein eigenes Auge. Ich suchte die Methode namentlich so zu verändern, daß die Stellung des Kopfes besser gesichert war, und daß Ermüdung der Muskeln durch Winkelmessungen in seitlichen Stellungen des Auges vermieden wurde, und suchte den Grund des Gesetzes in dem oben gegebenen Principe der leichtesten Orientirung.⁵ Einwände gegen die Methode der Beobachtung und gegen die Begründung des Gesetzes, welche E. HERING⁶ aufstellte, habe ich oben zu beseitigen gesucht.

§. 28. Das monoculare Gesichtsfeld.

529

Bei dem gewöhnlichen Gebrauche unserer Augen sehen wir mit ihnen beiden zugleich, indem wir sowohl sie selbst im Kopfe hin- und herbewegen,

¹ RUETE, *Lehrbuch der Ophthalmologie: Ein neues Ophthalmotrop.* 1857.

² G. MEISSNER, *Beiträge zur Physiologie des Sehorgans* 1851. *Archiv für Ophthalmologie* II. 1855.

³ A. FIOCK, *Moleschott Untersuchungen*, Bd. V, S. 193. 1858; *Zeitschrift für rationelle Medizin* 1854, IV, S. 801.

⁴ W. WUNDT, *Graefes Archiv für Ophthalmologie*. VIII, 1862, S. 1—114.

⁵ H. HELMHOLTZ, *Archiv für Ophthalmologie*, IX, 153—214.

⁶ H. HERING, *Beiträge zur Physiologie*. Leipzig 1864. S. 248—286.

als auch von Zeit zu Zeit unsern Kopf und unsern ganzen Körper im Raume seinen Ort wechseln lassen. Dabei pflegen wir die Augen in der Weise herumschweifen zu lassen, daß beide bald diesen, bald jenen Punkt der vor uns liegenden Objecte fixiren, das heißt, beide sich so wenden, um das Bild des fixirten Punktes gleichzeitig auf den Centren der Netzhäute zu empfangen. Indem wir die Augen so gebrauchen, sind wir im Stande, richtige Wahrnehmungen des Ortes derjenigen gesehenen Gegenstände zu gewinnen, von denen das Licht ungestört in seinem geradlinigen Wege zu unserem Auge gelangt.

530 In der That läßt sich nach den in § 10 erörterten Gesetzen der Lichtbrechung im Auge einsehen, daß wenn bekannt ist die Stellung des Körpers und des Kopfes, ferner die Stellung beider Augen im Kopfe, und somit auch die Lage ihrer Knotenpunkte, endlich die Orte der beiden Netzhäute, welche von den Bildern desselben leuchtenden Punktes getroffen werden, daß dann auch eindeutig bestimmt werden kann der Ort, wo der leuchtende Punkt sich wirklich befindet. Denn man ziehe von dem Netzhautbilde jedes Auges eine gerade Linie durch den Knotenpunkt, und verlängere sie. Beide Richtungslinien werden sich nur in einem Punkte schneiden können, und nur in diesem Punkte wird sich das leuchtende Object befinden können.

Von der Genauigkeit der einzelnen oben geforderten Bestimmungen wird es übrigens abhängen, mit welcher Genauigkeit der Ort des gesehenen Objects im Raume wirklich bestimmt wird.

Wenn also gegeben sind:

- 1) Empfindungen, welche genügen, um eine richtige Kenntniß zu gewinnen von der Stellung unseres Körpers und Kopfes gegen ein beliebig für die Abmessungen gewählte Grundlage, zum Beispiel den Fußboden, auf dem wir stehen,
 - 2) Empfindungen, welche zu einem richtigen Urtheil über die Stellung unserer Augen im Kopfe genügen,
 - 3) Momente in der Empfindung (sogenannte Localzeichen), durch welche wir die Reizung der von dem Lichte des Objectpunktes *A* gereizten beiden Netzhautstellen von der Reizung aller anderen Netzhautstellen unterscheiden können (von welcher Art diese letzteren sind, darüber wissen wir gar nichts; daß dergleichen da sein müssen, schließen wir eben nur aus dem Umstande, daß wir Lichteindrücke auf verschiedenen Theilen der Netzhäute zu unterscheiden vermögen),
- so ist hinreichendes Material gegeben, um den Ort des Punktes *A* im Raume unzweideutig daraus bestimmen zu können. Befände sich der Punkt *A* an irgend einem andern Orte des Raums, so würde er ein anderes Aggregat von Empfindungen erregen müssen. Die Erfahrung lehrt nun, daß wir im Allgemeinen auch wirklich durch das Gesicht die Orte der gesehenen Objectpunkte richtig bestimmen können. Die Genauigkeit dieser Bestimmung ist freilich eine wechselnde und hängt namentlich davon ab, wie nahe in

beiden Augen die Bilder des Punktes *A* dem Centrum der Netzhautgrube liegen.

Wir werden nun also zu untersuchen haben, wieviel die genannten Momente der Empfindung einzeln genommen zu der genauen Wahrnehmung des Ortes der Objecte beitragen. Wir werden dabei nicht weiter untersuchen, von welchen Empfindungen die Beurtheilung der Stellung des Körpers zum Fußboden und des Kopfes zum Körper abhängig ist; die Untersuchung darüber gehört in die Physiologie der Sinneswahrnehmungen überhaupt, nicht in die des Gesichtssinnes. Wir nehmen also an, daß die Stellung des Kopfes gegen die zu Grunde gelegte Basis der räumlichen Abmessungen in jedem Falle genau bekannt sei. Dann bleibt also zu untersuchen, wieviel zur Erkenntniß des Ortes der Objecte beitragen

- 1) Bewegungen des Kopfes
- 2) Bewegungen der Augen im Kopfe
- 3) Sehen mit einem Auge
- 4) Sehen mit beiden Augen.

Wir beginnen unsere Untersuchung damit, daß wir feststellen, was beim 531 Gebrauche nur eines Auges und beim Ausschluss aller Bewegungen des Kopfes erkannt werden könne. Die Bewegungen des betreffenden Auges im Kopfe dagegen werden in dem vorliegenden Abschnitte im Allgemeinen nicht ausgeschlossen.

Zunächst ist klar, daß wenn gegeben ist Ort und Stellung eines Auges, und der Ort des Netzhautbildes eines leuchtenden Punktes, für den das Auge accommodirt ist, so können wir von seinem Netzhautbilde eine gerade Linie durch den Knotenpunkt des Auges ziehen, und wissen zunächst, daß der leuchtende Punkt vor dem Auge in dieser Linie liegen müsse. In welchem Punkte dieser Linie er aber liege, bleibt nothwendig unbekannt, wenn wir keine anderen Hilfsmittel zur Entscheidung darüber haben. Zwar könnte man an die Accommodation des Auges denken. Wäre das Auge möglichst gut für den Punkt accommodirt, so würde möglicher Weise der Grad der Accommodationsanstrengung, oder die Größe des vorhandenen Zerstreuungskreises Aufschluss über die Entfernung geben können. Wir werden weiter unten in § 30 untersuchen, welche Hilfsmittel beim monocularen Sehen für die Beurtheilung der Entfernung noch vorhanden sind, und dabei sehen, daß die Accommodation in der That ein außerordentlich unvollkommenes Hilfsmittel für die Beurtheilung der Entfernung ist. Wenn wir also von den kleinen Unterschieden in der Schärfe des Bildes absehen, welche durch wechselnde Accommodation hervorgebracht werden können, so ist kein anderes Moment in der Empfindung vorhanden, welches darüber Aufschluss gäbe, in welcher Entfernung der leuchtende Punkt liegt.

Oben wurde vorausgesetzt, das Auge sei genau accommodirt für den leuchtenden Punkt. Dann können wir, um seine Richtung zu finden, von seinem Netzhautbilde, wie oben vorgeschrieben ist, die gerade Richtungslinie durch die Knotenpunkte ziehen, oder aber auch jedem anderen Strahle

folgen, der von irgend einem Punkte der Pupille nach dem Netzhautbilde hinläuft. Wenn wir die Brechung eines solchen Strahls nach den in § 10 gegebenen Regeln richtig construiren, um seinen Weg vor dem Auge zu finden, wird uns jeder solcher Strahl schließlicly zu dem leuchtenden Punkte zurückführen, von dem er ausgegangen ist. In diesem Falle bleibt es also gleichgiltig, welchen von den in die Pupille gefallenen Strahlen wir wählen, um die Richtung zu bestimmen, in welcher der leuchtende Punkt liegt.

Dies ist aber nicht mehr gleichgiltig, wenn wir auf der Netzhaut Bilder von leuchtenden Punkten haben, für welche das Auge nicht ganz genau accommodirt ist. In solchen Fällen dürfen wir den Mittelpunkt des Zerstreuungskreises als den Ort des Netzhautbildes betrachten¹. Der Strahl aber, welcher von dem leuchtenden Punkte nach der Mitte des eventuellen Zerstreuungskreises hingeht, geht, wie schon oben S. 115 bemerkt, durch den Mittelpunkt der Pupille und ist mit dem Namen einer Visirlinie 532 belegt worden. Wenn sich der leuchtende Punkt längs dieser Visirlinie hin und her bewegen würde, so würde sich in der Empfindung nichts verändern, als dafs das Zerstreuungsbild desselben kleine Vergrößerungen und Verkleinerungen erlitte, welche selbst bei sehr bedeutendem Wechsel der Entfernung unmerklich klein sein könnten.

Es läßt sich ferner zeigen, dafs auch durch eintretende Accommodation des Auges für die Nähe der Mittelpunkt der Zerstreuungskreise auf der Netzhaut seinen Ort nicht merklich verändert. Die darauf bezügliche Rechnung wird am Ende dieses Paragraphen gegeben werden.

Um nun zur Anschauung zu bringen, was wir mit einem Auge ohne Hilfe von Bewegungen des Kopfes und ohne Berücksichtigung der Accommodationsunterschiede von der Außenwelt erkennen können, dazu sind namentlich sehr weit entfernte Gegenstände als Gesichtsubjecte die passendsten Beispiele. Denn bei sehr weit entfernten Objecten bringen mäfsige Bewegungen unseres Kopfes keine andere Veränderung des Bildes hervor, als wir auch durch Drehungen des Auges allein hervorbringen können. Ja, beim Anblick unendlich entfernter Objecte ist es sogar gleichgiltig, ob wir das zweite Auge ebenfalls öffnen, oder nicht. Denn der Gebrauch des zweiten Auges giebt uns nur dann ein neues verwerthbares Moment der Empfindung, wenn die in ihm gezogene Visirlinie die des ersten Auges irgendwo in einer meßbaren Entfernung schneidet. Wenn beide Linien merklich parallel sind und neben einander in unabsehbare Entfernung hinauslaufen, so giebt uns das keinen Aufschluß über die wirkliche Entfernung des leuchtenden Objectes, aufser dem negativen, dafs es jenseits einer gewissen Grenze der Entfernung liegen muß.

Betrachten wir weit entfernte irdische Gegenstände, so kann uns die früher gewonnene Bekanntschaft mit ihrer wirklichen Form und Entfernung,

¹ Es ist hier nur von leuchtenden Punkten die Rede; dafs es sich an den Rändern leuchtender Flächen anders verhält, ist bei der Lehre von der Irradiation in § 21 auseinandergesetzt.

Farbe u. s. w. noch mancherlei Hilfe in der Deutung unseres Gesichtsfeldes gewähren. Wollen wir uns von allen diesen Hilfsmitteln früherer Erinnerung frei machen, so bietet sich uns ein Object dar, was für diese Untersuchung in ausgesuchter Weise paßt, nämlich der gestirnte Himmel. An dem finden wir Objecte, von deren Form, Größe und Entfernung uns durchaus keine frühere Anschauung unterrichtet hat, für deren Wahrnehmung der Gebrauch beider Augen und die etwa von uns ausgeführten Bewegungen durchaus nicht weitere sinnliche Momente gewähren, als ein einzelnes Auge gewähren kann, dessen Ort im Raume unverändert bleibt.

Unter diesen Umständen erscheinen uns die Objecte, welche in der That im Raume nach drei Dimensionen vertheilt sind, nur noch nach zwei Dimensionen ausgebreitet. Wir sind nur noch im Stande, die Richtung der Visirlinie zu erkennen, die zu jedem einzelnen gesehenen Punkte hinführt. Eine solche Richtung braucht zu ihrer Festsetzung nicht mehr drei Bestimmungsstücke, wie ein Punkt, sondern nur zwei; wie denn auch die Sterne in ihrer Lage bestimmt werden durch je zwei Winkel, entweder ihre Länge und Breite im Verhältniß zum Pol und Aequator, oder ihre Rectascension und Declination im Verhältniß zur Ekliptik.

Eine Raumgröße von zwei Dimensionen ist eine Fläche; in einer solchen ist die Lage der Punkte festgestellt durch je zwei Bestimmungsstücke. Wenn wir also beim Sehen mit einem Auge, dessen Drehpunkt seinen Ort im Raum nicht wechselt, die eine Dimension, die Entfernung, nicht zu unterscheiden vermögen, so können wir die Objecte nicht mehr im Raume, sondern nur noch wie an einer Fläche vertheilt sehen. Diese scheinbare flächenartige Anordnung der gesehenen Objecte nennen wir das Gesichtsfeld. So sehen wir zum Beispiel die Sterne an der imaginären Fläche des Himmelsgewölbes vertheilt. 533

Ich bitte den Leser darauf zu achten, daß ich nicht gesagt habe, die Gegenstände erschienen uns an oder auf einer Fläche vertheilt, sondern nur wie an einer Fläche, in flächenartiger Anordnung, in einer nach zwei Dimensionen unterschiedenen Anordnung. In der That stellen wir uns nicht nothwendig eine bestimmte Fläche in bestimmter Entfernung vor, an der die Sterne oder die fernen Berge des Horizonts angeheftet wären, wenn auch das eiserne Himmelsgewölbe und die krystallinischen Sphären der alten Zeit der natürliche Ausdruck für eine kindlichere Art der Anschauung sind, in der man Alles recht greifbar zu machen suchte. Es ist dadurch manche Schwierigkeit in die physiologische Optik gekommen, daß man glaubte, in jedem Falle eine bestimmte Fläche, meist eine Kugelfläche, als das zeitweilige Gesichtsfeld jedes Auges annehmen zu müssen. Man kann sich jede Function von zwei Variablen auf einer Fläche darstellen. So haben wir in § 20 die Farben gleicher Helligkeit nach gewissen Regeln auf der Farbenscheibe dargestellt. Die beiden Variablen, nach denen die Farbe sich unterscheidet, sind hierbei der Farbenton und der Sättigungsgrad gewesen. Gehen wir durch eine continuirliche Reihe von Farbentönen von

einer Anfangsfarbe aus und zu derselben wieder zurück (das heißt, ziehen wir eine geschlossene Linie in der Farbenscheibe), so zerfällt dadurch die Gesamtheit der Farben in zwei vollständig getrennte Gruppen (die außerhalb und innerhalb jener Linie dargestellt sind), und wir können nicht von einer Farbe der einen Gruppe continuirlich zu einer der andern Gruppe übergehen, ohne durch eine der zuerst berührten Farben (die in der geschlossenen Linie liegen) hindurchzugehen. Dies letztere ist nun auch die Charakteristik einer einfach zusammenhängenden Fläche; jede geschlossene Linie, die wir in ihr ziehen, theilt sie in zwei Theile, und wir können nicht von einem Punkte des einen Theils zu einem des andern in der Fläche übergehen, ohne durch jene geschlossene Linie durchzugehen. Eben wegen dieser Analogie machen wir uns das System der Farben anschaulich, indem wir sie auf einer Fläche ausgebreitet darstellen, und mehr will es zunächst auch nicht sagen, wenn wir die Objecte auf die imaginäre Fläche des Gesichtsfeldes, deren Ort im Raume übrigens ganz unbestimmt bleibt, entwerfen.

534 Uebrigens ist auch leicht einzusehen, daß diese Anschauung einer flächenhaften Vertheilung der Gegenstände im Gesichtsfelde auch da erhalten bleiben muß, wo wir gleichzeitig mit ihr vollständig genaue und richtige Anschauungen der wirklichen Vertheilung der Objecte im Raume durch unsern Gesichtssinn haben. Denn immer wird die Eigenthümlichkeit in der Anschauung stehen bleiben, daß, wenn ich mit dem Blicke eine geschlossene Linie im Gesichtsfelde durchlaufen habe, ich von einem innern zu einem äußeren Punkte den Blick nicht überführen kann, ohne jene geschlossene Linie zu durchschneiden. Wenn ich den Umfang eines Fensters mit dem Blick umschrieben habe, kann ich von einem Objecte, welches ich außerhalb des Fensters sehe, nicht zu einem Objecte an den Wänden des Zimmers übergehen, ohne mit dem Blicke über den Rand des Fensters zu streifen, und dadurch ist das wesentliche Kennzeichen einer flächenartigen Anordnung der gesehenen Objecte gegeben, obgleich wir andererseits sehr wohl wissen, daß im wirklichen Raume unendlich viele Linien von jenem äußeren Punkte zu dem an der Zimmerwand gezogen werden können, welche die Umgrenzungslinie des Fensters durchaus nicht schneiden.

Eben weil wir in dieser Weise mit dem Blicke über die Gesichtsobjecte hinstreifend dieselben in einer flächenhaften Anordnung finden, ist es nun auch möglich, ihren Anblick durch flächenhafte Zeichnungen und Gemälde dem Auge zurückzurufen. Der Zeichner, welcher eine Landschaft abbilden will, bemüht sich nicht zu ermitteln, wie weit jeder Punkt der Landschaft von seinem Auge oder von einem anderen Punkte der Landschaft wirklich entfernt ist, sondern nur, ob er von dem ersten aus den Blick nach oben oder unten, nach rechts oder links wenden muß, und welche Excursion sein Auge etwa machen muß, um zu dem zweiten hinzugelangen. Das flächenhafte Bild wird von uns als ähnlich dem körperlichen Objecte anerkannt, wenn wir dieselben Bewegungen unseres Auges ausführen müssen, um von

einem zum andern Punkte des Bildes zu gelangen, welche nöthig wären, um die entsprechenden Punkte des Objects nach einander zu erblicken.

Es ist weiter ersichtlich, daß wir auf diesem einfachen Wege auch die Anordnungsweise der Punkte in der scheinbaren Fläche des Gesichtsfeldes kennen lernen können, zunächst abgesehen von allen Größenbestimmungen.

Was darunter zu verstehen ist, wird am leichtesten ersichtlich, wenn man sich ein flächenhaftes Bild auf eine dehnbare Kautschukplatte aufgetragen denkt. Diese kann man nachher beliebig ausrecken, und alle Längenverhältnisse zwischen ihren einzelnen Theilen, so wie die Winkel zwischen den einzelnen Linien der Größe nach beliebig ändern, doch wird trotz aller Veränderungen jede geschlossene Linie, die durch dieselbe Reihe von Punkten des Bildes gezogen ist, immer denselben unveränderlichen Satz von anderen Bildpunkten in sich einschließen und die andere Hälfte ausschließen, und in jeder continuirlichen linienförmigen Reihe von Punkten des Bildes wird die Reihenfolge der Punkte unverändert bleiben, so sehr auch die Größe und Form der einzelnen Theile einer solchen Linie sich verändert. Ebenso ist die Anordnungsweise der Punkte auf einer ebenen geographischen Karte und einem Erdglobus dieselbe, trotzdem daß die Größenverhältnisse auf der ebenen Karte nicht genau denen auf dem Globus entsprechen können, um so weniger, ein je größeres Stück der Erdoberfläche dargestellt ist.

Wenn wir zwei Flächen haben, und die Punkte der einen denen der anderen in einer festgesetzten Weise entsprechen, so nenne ich die Ordnung der Punkte auf beiden Flächen, gleichartig, so oft allen solchen Reihen von Punkten der ersten Fläche, die in einer continuirlichen Linie liegen, solche Punkte der anderen entsprechen, die ebenfalls in einer continuirlichen Linie liegen, und wenn die Reihenfolge der Punkte in der ersten Linie dieselbe ist, wie die Reihenfolge der entsprechenden Punkte in der zweiten Linie. 535

Indem wir den Blick über das Gesichtsfeld schweifen lassen, finden wir unmittelbar in der Wahrnehmung, in welcher Ordnung die Objectpunkte im Gesichtsfelde aufeinander folgen, so daß zunächst wenigstens die Ordnung der Punkte im Gesichtsfelde durch solches Herumblicken unmittelbar bestimmt werden kann.

Wie und in wie weit die Größenverhältnisse durch das Augenmaafs bestimmt werden können, wollen wir nachher untersuchen. Hier ist zunächst nur noch zu bemerken, daß wenigstens das Auge des Erwachsenen die Ordnung der Punkte im Gesichtsfelde nicht nur an Objecten bestimmt, über welche der Blick schweifen kann, sondern daß wir ein bestimmt flächenhaft geordnetes Bild auch von solchen Objecten und Erregungen haben, die in Bezug auf unsere Netzhaut ihren Ort nicht wechseln und sich mit unserem Auge bewegen. Dies gilt für die Nachbilder, die Netzhautgefäße, die Polarisationsbüschel und überhaupt für die meisten subjectiven Erscheinungen.

Wie wir auch das Auge bewegen mögen, immer wird derselbe Punkt eines solchen subjectiven Bildes dem Fixationspunkte entsprechen, und wir können nie verschiedene Theile des Bildes nach einander auf der Mitte unserer Netzhaut wechseln lassen. Daraus folgt, daß wir im Stande sind, die Ordnung der gesehenen Punkte im Gesichtsfelde auch zu beurtheilen nach dem bloßen Eindruck, den das ruhende Netzhautbild auf die ruhende Netzhaut macht, ohne daß wir nöthig haben, jedes einzelne Mal durch Bewegungen zu controlliren, welches die Reihenfolge der einzelnen Objectpunkte sei.

Um diese Thatsache zu erklären, kann die Annahme gemacht werden und ist von den Anhängern der nativistischen Theorie gemacht worden, daß wir eine angeborene Kenntniß der Ordnung der Netzhautpunkte auf unserer Netzhaut (und auch wohl der GröÙe ihrer Abstände) besitzen, welche uns unmittelbar in den Stand setzt, wahrzunehmen, welche Punkte des Netzhautbildes continuirlich aneinanderstossen, welche nicht. Wenn eine solche Annahme gemacht wird, so ist damit natürlich jede weitere Erörterung über den Ursprung unserer flächenhaften Gesichtsbilder abgeschnitten.

Andererseits ist ersichtlich, daß die Fähigkeit, auch ohne Bewegung des Auges die Ordnung der Objecte im Gesichtsfelde zu erkennen und zu beurtheilen, auch erworben sein kann, wie dies die empiristische Theorie der Gesichtswahrnehmungen annimmt. Denn jedes Mal, wo wir durch Bewegungen des Auges die Ordnung der Theile eines ruhenden Objects bestimmt haben, erhalten wir auch, so lange wir einen seiner Punkte ruhig fixiren, einen ruhenden Eindruck seiner verschiedenen Theile auf unsere Netzhaut, und können somit durch Erfahrung kennen lernen, wie zwei Punkte, die wir durch Bewegung des Auges als benachbart erkannt haben, sich im ruhenden Bilde des Auges darstellen, das heißt also, anatomisch gesprochen, wir können durch Erfahrung kennen lernen, welche Localzeichen der Gesichtsempfindungen benachbarten Netzhautfasern angehören, und wenn wir dies gelernt haben, werden wir im Stande sein, auch aus dem unveränderten
536 Eindruck eines relativ zum Auge ruhenden Objects die Anordnung der Punkte im Gesichtsfelde zu erkennen.

Wir werden also im Folgenden zu prüfen haben, ob ohne die Hypothese von der angeborenen Kenntniß der Anordnung der Netzhautpunkte die Thatsachen sich erklären lassen aus den bekannten Fähigkeiten des Sinnengedächtnisses. Directe Versuche über diese Frage an neugeborenen Kindern lassen sich natürlich nicht anstellen, und die Erfahrungen an operirten Blindgeborenen ergeben hierüber so gut wie nichts, da diese operirten sogenannten Blinden fast immer Staarkranke waren, welche durch ihre getrübe Linse allerdings sehr wenig zu sehen, aber doch die Richtung des stärkeren Lichts noch zu erkennen im Stande waren, und also der Erfahrungen über die Localisation ihrer Netzhautindrücke nicht ganz entbehrten. In dieser Beziehung würden Fälle von angeborener Verschließung der Pupille, die durch künstliche Pupillenbildung geheilt wurden, wo dergleichen vor-

kommen, viel wichtiger sein, als die Erfahrungen an operirten Staarkranken. Einige merkwürdige Fälle dieser Art sind am Ende dieses Abschnitts erwähnt.

Wir erkennen nun aber nicht bloß die Ordnung der Objectpunkte im Gesichtsfelde in dem allgemeinen Sinne, wie es bisher besprochen ist, sondern wir erkennen auch bis zu einem gewissen Grade der Genauigkeit die Größenverhältnisse der Linien und Winkel. Der Zeichner, welcher sich bemüht, den Eindruck der körperlichen Objecte durch ein flächenhaftes Bild wiederzugeben, darf nicht bloß darauf ausgehen, die Punkte des Objects in der Reihenfolge auf seiner Zeichnung zu ordnen, wie unser Blick sie trifft, wenn er über sie hinschweift; er muß auch streben, gewisse Größenverhältnisse einzuhalten zwischen den Abständen der einzelnen Punkte, damit wir die flache Zeichnung dem körperlichen Objecte ähnlich finden, und wenn wir eine Zeichnung auf einem Kautschukblatte ausführen und sie verschiedentlich ausrecken, so ändert sich ihr Anblick für unser Auge, trotzdem die Anordnung der Punkte in der Fläche dieselbe bleibt.

Um nun die auf die Beurtheilung der Größenverhältnisse bezüglichen Thatsachen unzweideutig auseinandersetzen und ihrem Ursprunge nachforschen zu können, müssen wir noch einige Festsetzungen über die Flächen, auf welche wir uns die Bilder des Gesichtsfeldes projectirt denken wollen, vorausschicken.

Man braucht den Namen des Gesichtsfeldes in der Regel für die Erscheinung der vor uns liegenden Gesichtsobjecte, so lange man nicht auf ihre Entfernung von uns, sondern nur auf ihre scheinbare flächenhafte Anordnung neben einander achtet, ohne dabei bestimmt festzusetzen, ob die Objecte mit festgehaltenem oder mit schweifendem Blicke, oder vielleicht selbst mit Hülfe von Bewegungen unseres Kopfes und Körpers betrachtet werden sollen. In der nun folgenden Analyse unserer Wahrnehmungen wird es aber nöthig, diese verschiedenen Fälle von einander deutlich zu trennen. Der unbestimmte Name des Gesichtsfeldes mag beibehalten werden, wo es auf eine solche Unterscheidung des bewegten oder unbewegten Auges nicht ankommt, oder wo zusammengegriffen werden soll, was sowohl das bewegte, wie das unbewegte Auge wahrnimmt, wie wir denn auch mit dem Worte Gesicht den ganzen Sinn in allen seinen Anwendungen verstehen. 537
Dagegen habe ich schon im vorigen Paragraphen mit Blickfeld dasjenige Feld bezeichnet, über welches der Blick des bewegten Auges hinlaufen kann. Dem entsprechend betrachte ich das Blickfeld als eine Fläche, die fest mit dem Kopfe verbunden ist, mit diesem sich bewegt, und in welchem ein Punkt, der Blickpunkt oder Fixationspunkt von einem, beziehlich beiden Augen so betrachtet wird, daß er sich auf dem Centrum der Netzhautgrube abbildet. Die Richtungen oben und unten, rechts und links werden im Blickfelde nach den entsprechenden Richtungen des Kopfes genommen. Ein Punkt des Blickfeldes ist ausgezeichnet dadurch, daß er der Fixationspunkt des entsprechenden Auges in seiner Primärstellung ist; wir wollen ihn den 538

Hauptblickpunkt (primären Fixationspunkt) nennen. Den gerade gegenüber liegenden, hinter dem Kopfe des Beobachters gelegenen Punkt, welcher das andere Ende des nach dem Hauptblickpunkt gerichteten Durchmessers des Blickfeldes bildet, nennen wir, wie oben, den Occipitalpunkt. Im Kopfe bestimmt für unsere Zwecke die Verbindungslinie der Drehpunkte beider Augäpfel die horizontale Richtung von rechts nach links. Legen wir durch die genannte Verbindungslinie und den Hauptblickpunkt eine Ebene, so ist diese die horizontale Meridianebene des Blickfeldes, oder die Primärlage der Blickebene. Die übrigen Meridianebenen des Blickfeldes werden durch die Verbindungslinie des Hauptblickpunkts und des Drehpunkts des betreffenden Auges gelegt. Die Schnittlinien der Meridianebenen mit der imaginären Fläche des Blickfeldes sind die Meridiane dieses Feldes. Wenn beide Augen gebraucht werden, kann von Meridianebenen nicht gesprochen werden, aufer von der horizontalen, wohl aber von Meridianlinien, weil das Blickfeld so unendlich weit entfernt gedacht werden kann, daß die Richtung der Ebenen, welche durch einen Punkt des Blickfeldes und die Gesichtslinie des einen oder andern Auges gelegt sind, nicht merklich verschieden ist.

Ruhende äußere Objecte wechseln also ihren Platz im Blickfelde, wenn sich der Kopf bewegt; dieselbe Stelle des Blickfeldes wird nacheinander auf verschiedenen Stellen der Netzhaut abgebildet, wenn sich das Auge bewegt. Dagegen verlangt Fixation derselben Stelle des Blickfeldes unausbleiblich immer dieselbe Stellung des Auges im Kopfe, und dieselben Verkürzungen, beziehlich Verlängerungen der einzelnen Augenmuskeln, so daß, wie wir vermuthen dürfen, jede Stelle des Blickfeldes mehr oder weniger genau bezeichnet ist durch die besonderen Innervationsgefühle und sonstige etwa vorhandenen Empfindungen der Nachbartheile des Auges, welche zu der betreffenden Stellung des Auges im Kopfe gehören.

Wir können das Blickfeld zum Zwecke seiner geometrischen Ausmessung als eine Kugelfläche von unendlich großem Radius betrachten, ähnlich dem Himmelsgewölbe, deren Mittelpunkt im Drehpunkte des Auges gelegen ist. Der Ort eines gesehenen Punktes im Blickfelde wird gefunden, wenn man durch ihn und den Drehpunkt des Auges eine gerade Linie legt und diese bis zur imaginären Fläche des Blickfeldes verlängert denkt. Wo sie die Fläche des Blickfeldes schneidet, ist der geometrische Ort des gesehenen Punktes im Blickfelde, den wir in vielen Fällen zu unterscheiden haben
 538 werden von dem scheinbaren Ort im Blickfelde, an welchen wir das gesehene Object nach der Schätzung vermittels des Augenmaßes verlegen.

Vom Blickfelde, das sich auf den bewegten Blick bezieht, unterscheiden wir das Sehfeld des Auges, welches wir uns mit dem Auge zugleich beweglich denken, so daß jeder Punkt des Sehfeldes immer auf demselben bestimmten Punkte der Netzhaut abgebildet wird. Daß durch veränderte Accommodation des Auges letzterer Punkt nicht wesentlich geändert werden kann, wird am Schluß dieses Paragraphen gezeigt werden. Das Sehfeld ist

also gleichsam die nach aufsen projecirte Netzhaut mit ihren Bildern und ihren sonstigen Eigenthümlichkeiten. Nachbilder, der Gefäfsbaum, der blinde Fleck, der gelbe Fleck projeciren sich also immer in die gleichen Orte des Sehfeldes. Jeder Punkt des Sehfeldes ist deshalb bezeichnet in der Empfindung durch diejenigen Localzeichen derselben, welche den Empfindungen der entsprechenden Netzhautstelle angehören, und es ist schon früher hervorgehoben worden, dafs wir die locale Bestimmtheit der Empfindung irgend einer Sehnervenfasern sowohl in unseren eigenen Vorstellungen, als auch in der Mittheilung für andere gar nicht anders bezeichnen und aussprechen können, als indem wir die Stelle des Sehfeldes bezeichnen, der sie angehört.

Das Sehfeld selbst kann aber mit dem Blickpunkte seine Lage gegen das Blickfeld ändern. Um bestimmte Richtungen im Sehfeld festzusetzen, gehen wir von der Primärlage des Augapfels aus. In dieser Lage schneidet die horizontale Meridianebene des Blickfeldes das Sehfeld in einer Linie, die ich den horizontalen Meridian des Sehfeldes oder kürzer den Netzhauthorizont nennen werde. Die Meridianebenen des Sehfeldes sind durch die Hauptvisirlinie zu legen, das heifst, durch die Visirlinie, welche nach dem Blickpunkte hinläuft, und die wir wohl als mit der Blicklinie, das heifst dem Strahl, der vom Blickpunkt nach dem Drehpunkt des Auges läuft, zusammenfallend denken können, da auch der Mittelpunkt der Pupille (siehe S. 29) wie die Gesichtslinie etwas nach der Nasenseite des Auges abweicht. Der Ort eines jeden gesehenen Objects im Sehfelde wird bestimmt durch die Visirlinie, welche durch den betreffenden Objectpunkt gezogen und bis zur Fläche des Sehfeldes verlängert ist.

Für die wissenschaftliche geometrische Ausmessung des Sehfeldes ist es am vortheilhaftesten, auch dieses als eine mit dem Blickfelde concentrische Kugelschale zu betrachten. Dafs die scheinbare Lage der Punkte im Sehfelde der geometrischen Construction nicht entspricht, werden wir nachher freilich erfahren. Wir müssen demnach auch im Sehfelde einen geometrischen und einen scheinbaren Ort der Punkte unterscheiden, welcher letztere nach dem Augenmafs bestimmt wird.

Wenn sich das Auge bewegt, verschiebt sich die Kugelfläche des Sehfeldes gegen die des Blickfeldes. Gegeben ist die Lage des Sehfeldes mittels der im vorigen Paragraphen entwickelten Gesetze der Augenbewegungen, sobald die Lage des Blickpunktes, der im Sehfelde eine unveränderliche Stellung hat, im Blickfelde gegeben ist. Denkt man sich die Primärstellung des Blickpunktes und die zeitige Lage desselben durch einen gröfsten Kreis verbunden, so mufs, so weit die Augenbewegungen nach LISTING'S Gesetze erfolgen, der horizontale Meridian des Blickfeldes und der Netzhauthorizont des Sehfeldes mit diesem Verbindungskreise gleiche Winkel machen.

Indem sich das Sehfeld gegen das Blickfeld verschiebt, bleibt der geometrische Ort für die Projectionen der einzelnen Objectpunkte in der

gemeinsamen Kugelfläche des Blickfeldes und Sehfeldes nicht ganz unverändert. Um den Ort im Sehfelde zu finden, müssen gerade Linien vom Kreuzungspunkte der Visirlinien nach den Objectpunkten gezogen werden. Da nun der Kreuzungspunkt der Visirlinien etwa 3 Millimeter hinter der Hornhaut und 12,9 Millimeter vor dem Drehpunkte liegt, so verändert er seine Lage bei Drehungen des Auges, und dadurch wird die Richtung der Visirlinien ein wenig geändert. Indessen ist diese Aenderung verhältnißmäßig sehr unbedeutend für Objectpunkte, die dem Auge nicht ziemlich nah sind. Die Rechnung ergibt, daß die scheinbaren Verschiebungen der Objecte bei Bewegungen des Auges, welche 10 Grade nicht übersteigen, kleiner sind als die Ungenauigkeit der Bilder in dem für unendliche Ferne accommodirten Auge, und also der Regel nach unter der Ungenauigkeit der Accommodation verschwinden werden. Nur bei sehr nahen Objecten und bei ausgedehnten Bewegungen des Auges werden solche Verschiebungen merklich. Wenn man zum Beispiel nahe vor das Auge einen Bleistift hält, dessen Dicke der Breite der Pupille etwa gleich kommt, und sich dadurch eine Lichtflamme vollständig verdeckt, so kann man die Lichtflamme im indirekten Sehen wahrnehmen, wenn man das Auge stark nach der Seite wendet. Dann verschiebt sich das Zerstreungsbild des nahen Bleistiftes so stark bei der seitlichen Bewegung des Auges, daß es nun die Lichtflamme nicht mehr verdeckt. Diese Methode ist mitunter vorthelhaft anzuwenden, wenn man ermitteln will, was man im indirekten Sehen erkennen kann, weil man hierbei das Object direct zu sehen gar nicht im Stande ist.

Sobald also nur ferne Objecte im Gesichtsfelde sind, die alle zugleich von dem für die Ferne accommodirten Auge ohne merkliche Undeutlichkeit gesehen werden können, so sind die Verschiebungen ihrer Projectionen in das Blickfeld verschwindend klein, und man kann den geometrischen Ort der betreffenden Objecte im Blickfelde als unabhängig von den Bewegungen des Auges betrachten.

Unter der angegebenen Einschränkung ist das Blickfeld die äußere Projection eines unveränderlichen Netzhautbildes, das Sehfeld das der Netzhaut selbst. Das Blickfeld und Sehfeld verschieben sich bei den Bewegungen des Auges gegen einander, wie das Netzhautbild der äußeren Objecte und die Netzhaut selbst. Ich ziehe es vor, in der folgenden Darstellung die beiden außer unserem Auge liegenden Flächen an die Stelle der Netzhaut und des Netzhautbildes treten zu lassen, weil jene ein richtigerer Ausdruck unseres thatsächlichen Bewußtseins sind, und weil bei der directen Eintragung aller Orte in die beiden Kugelfelder die Zweideutigkeit des Ausdrucks vermieden wird, die bisher so oft in die Irre geführt hat, als wüßten wir etwas von unserer Netzhaut, deren Größe und Ausdehnung, wenn gesagt wird, daß wir die Lage der Objecte vor uns beurtheilen nach der Stelle der Netzhaut, welche getroffen wird. Es ist übrigens ganz gleichgiltig für alle Constructionen, die an den Kugelflächen gemacht werden, wie groß wir ihren Radius nehmen, nur müssen wir bei endlichem Radius die Visirlinien ersetzen durch Linien,

die ihnen parallel durch den Drehpunkt des Auges gehen. So können wir den Radius der Kugelflächen auch negativ nehmen, das heißt die Kugelflächen hinter den Drehpunkt legen, wo die Netzhaut und das Netzhautbild liegen. Wir können eine solche Kugelfläche, welche in der Gegend der wirklichen Netzhaut liegt, eine ideelle Netzhaut nennen, auf der ein ideelles Netzhautbild liegt. Man muß aber nicht glauben, daß eine solche schematische Netzhaut der wirklichen in ihren Dimensionen anders als in sehr grober Annäherung entspricht. Die wirkliche Netzhaut hat eine ellipsoide Form, und das Netzhautbild der äußeren Gegenstände auf ihr ist jedenfalls durch die Asymmetrien des brechenden Apparats mannigfach verzogen. Auch halte ich für mein Theil für wahrscheinlich, daß es ganz gleichgiltig für das Sehen ist, welche Gestalt, Form und Lage die wirkliche Netzhaut hat, welche Verzerrungen das Bild auf ihr erleidet, wenn es nur überall scharf ausgeprägt ist, und weder die Form der Netzhaut noch die des Bildes im Laufe der Zeit sich merklich verändert. Im natürlichen Bewußtsein des Sehenden existirt die Netzhaut gar nicht. Weder durch die Hilfsmittel der gewöhnlichen Empfindung, noch selbst durch wissenschaftliche Versuche sind wir im Stande, von den Dimensionen und der Lage und Form der Netzhaut des lebenden Auges irgend etwas zu erfahren, außer was wir an ihrem optischen Bilde, welches die Augenmedien nach außen entwerfen, ermitteln können. Nur durch die Augenmedien hindurch verkehrt die Netzhaut der Regel nach mit der Außenwelt, und existirt für diese auch gleichsam nur so, wie sie in ihrem optischen Bilde erscheint. Der Repräsentant dieses optischen Bildes ist das von uns definirte Sehfeld.

Wenn zwei helle Punkte im Sehfelde vorhanden sind bei fester Stellung des Auges, so werden zwei verschiedene Sehnervenfasern durch deren Licht erregt und es entstehen zwei Empfindungen, die durch eigenthümliche Localzeichen von einander unterschieden sein müssen, da wir sie in der Empfindung zu unterscheiden im Stande sind. Welcher Stelle der Netzhaut diese Localzeichen angehören, wissen wir von vorn herein ebenso wenig, als wo die Sehnervenfasern liegen, die sie leiten, und zu welchen Stellen des Gehirns die Erregung fortgeleitet wird. Wir können uns darüber nur durch wissen-ⁿ schaftliche Untersuchungen Aufschluß verschaffen; hinsichtlich des den Sehnerven und das Gehirn betreffenden Theiles der Frage sind wir dabei bis jetzt noch nicht über die ersten einleitenden Schritte hinausgekommen. Wohl⁵⁴⁰ aber wissen wir durch tägliche Erfahrung, wie wir den Arm ausstrecken müssen, um einen oder den andern hellen Gegenstand entweder zu berühren oder unserem Auge zu verdecken. Wir können also direct durch solche Bewegungen die Richtung im Sehfelde ermitteln, wo sich die Objecte befinden, und wir lernen direct die besonderen Localzeichen der Empfindung zu verbinden mit dem Orte im Sehfelde, in den das Object gehört. Dies ist auch der Grund, warum wir die Gegenstände trotz ihrer umgekehrten Netzhautbilder aufrecht sehen. Die Netzhautbilder kommen bei der Localisation der Objecte eben gar nicht in Betracht; sie sind nur Mittel, die Lichtstrahlen

541 je eines Punktes des Gesichtsfeldes auf je eine Nervenfaser zu concentriren. Wir hätten gerade ebenso viel Recht, uns darüber zu wundern, warum die Buchstaben eines gedruckten Buches nicht von rechts nach links verkehrt sind, da ja doch die metallenen Lettern, mit denen es gedruckt ist, verkehrt sind.

Es ist also richtiger zu sagen: „wir empfinden, an welchem Orte des Sehfeldes ein Object erscheint“, als zu sagen: „wir empfinden den Ort der Netzhaut, auf dem es abgebildet ist“. Dies letztere hat einen richtigen Sinn, insofern darunter nur gemeint ist, daß gewisse Eigenthümlichkeiten der Empfindung, nämlich ihre Localzeichen, eigenthümlich sind denjenigen Empfindungen, die durch einen bestimmten Ort der Netzhaut uns zugeleitet werden, und für die wissenschaftliche Untersuchung würden wir die localen Verhältnisse der Empfindung auch durch den Ort der Netzhaut, auf den das Licht fällt, charakterisiren können. Der Ausdruck erregt aber immer das Mißverständniß, daß wir beim natürlichen Sehen irgend eine Art verborgener Kenntniß von der wirklichen Existenz und Lage der Netzhautstelle haben müßten, zu welcher Behauptung mir gar kein Grund vorzuliegen scheint.

Es ist schon früher hervorgehoben worden, daß diese Verbindung zwischen den localen Unterschieden der Empfindung und der Richtung im Sehfelde so ausschließlichsich ist, daß wir gar kein Mittel haben, die locale Bestimmtheit unserer Empfindungen weder in unserem eigenen Bewußtsein, noch in der Mittheilung für andere anders zu bezeichnen, als indem wir die Stelle des Sehfeldes angeben, auf die sich die Empfindung bezieht.

Nachdem wir diese Definition festgestellt haben, können wir uns zu der Untersuchung wenden, wie weit unsere Fähigkeit reicht, Größenverhältnisse im Gesichtsfelde zu beurtheilen, und welchen Täuschungen wir dabei ausgesetzt sind. Jede genauere Vergleichung zweier Raumgrößen, Linien, Winkel oder Flächen im Gesichtsfelde nimmt Augenbewegungen zu Hilfe. Wir wollen zunächst untersuchen, was wir mit Hilfe solcher Bewegungen erreichen können, und später, wie sich die Ausmessungen verändern, wenn wir die Augenbewegungen ausschließen. Ich wähle diese Ordnung, weil mir die Abmessungen mit Augenbewegungen, wie sie die genaueren sind, so auch die ursprünglicheren zu sein scheinen.

Ueber die Genauigkeit in der Vergleichung nahe gleicher Abstände im Gesichtsfelde sind von FECHNER¹ und VOLKMANN Versuche angestellt worden. Ersterer hat einen Zirkel auf Distanzen von 10, 20, 30, 40 und 50 halbe Pariser Decimallinien eingestellt, und die Spitzen eines zweiten Zirkels nach dem Augenmaafs in dieselbe Distanz gebracht, wobei beide Zirkel, bis auf die Spitzen verdeckt in deutlicher Sehweite, 1 Pariser Fuß vom Auge entfernt, vor ihm neben einander auf dem Tische lagen. Nach jeder Einstellung wurde der Fehler derselben bestimmt. VOLKMANN hing neben

¹ FECHNER, *Psychophysik*. Bd. I. S. 211—236. Andere auch von HEGELMAYER in *Vierordts Archiv* XI, 844—853.

einander drei durch Gewichte gespannte Fäden in verticaler Richtung und horizontal gegen einander verschiebbar auf, und machte nach dem Augenmaasse ihre Abstände gleich, welche wechselten zwischen 10 und 240 Milli-⁵⁴²meter, wobei sein Auge 800 Millimeter von den Fäden entfernt war. Die Summe der bei den unter gleichen Umständen gemachten Versuchsreihen gemachten Fehler wurde genommen, wobei vom Sinne der Fehler abgesehen wurde, und diese Summe durch die Zahl der Beobachtungen dividirt; so erhielt er den mittleren Fehler, der bei diesen Versuchen stets nahehin den gleichen Bruchtheil der ganzen verglichenen Länge ausmachte. Die Gröfse dieses mittleren Fehlers betrug im Mittel aus allen Beobachtungen in Bruchtheilen der ganzen Länge der verglichenen Linien

bei FECHNER	$\frac{1}{62,1}$
bei VOLKMANN, frühere Versuche	$\frac{1}{88,0}$
bei demselben, spätere Versuche	$\frac{1}{101,1}$

Es zeigte sich demnach für diese Beobachtungen das von WEBER aufgestellte und von FECHNER verallgemeinerte psychophysische Gesetz gültig, welches wir schon bei der Untersuchung über die Abhängigkeit der Stärke der Lichtempfindung von der objectiven Helligkeit kennen gelernt haben, wonach die unterscheidbaren Unterschiede der Empfindungsgrößen der gesammten Gröfse des Empfundnen proportional sind.

Andere Versuche wurden mit viel kleineren mikrometrisch zu messenden Distanzen von VOLKMANN und einem seiner Schüler angestellt. Die Distanzen waren durch drei feine parallele Silberfäden, von 0,445 Millimeter Dicke und 11 Millimeter Länge bestimmt, welche durch Mikrometerschrauben verschoben werden konnten. Sie wurden ebenfalls so eingestellt, daß ihre Entfernung, wechselnd von 0,2 bis 1,4 Millimeter nach dem Augenmaass gleich gemacht wurde. Die Fehler nahmen in diesem Falle nicht mehr proportional den gemessenen Distanzen ab, sondern näherten sich einer unteren Grenze, wie zu erwarten war, da bei so kleinen Distanzen die Genauigkeit in der Unterscheidung kleinster Theile des Gesichtsfeldes, welche von der Feinheit der Netzhautelemente abhängt, mit in Betracht kommen muß. Der mittlere Fehler Δ konnte aber dargestellt werden als die Summe eines constanten und eines dem Abstände D der Fäden proportionalen Gliedes, nach der Formel

$$\Delta = v + WD$$

worin v und W zwei Constanten bezeichnen. Es ergaben sich hierbei reducirt auf 340 Millimeter Sehweite folgende Werthe dieser Constanten

	v in Millimetern	W
VOLKMANN horizontale Abstände	0,008210	$\frac{1}{79,1}$
Derselbe verticale Abstände	0,007319	$\frac{1}{45,1}$
APPEL horizontale Abstände	0,005331	$\frac{1}{164,5}$
Derselbe ebenso später	0,008548	$\frac{1}{85,3}$

543 Die Werthe von W zeigen, daß die Vergleichung verticaler Abstände viel unvollkommener ist, als die Vergleichung horizontaler. Dasselbe beobachtet man übrigens auch sogleich, wenn man eine Reihe verticaler und horizontaler Linien auf Papier zieht und sie nach dem Augenmaafse zu halbiren sucht, und dann die abgetheilten Längen mit dem Maafsstab vergleicht. Die Fehler in der Halbiring verticaler Linien werden im Allgemeinen viel gröfser, als die von horizontalen. Wenn man sich selbst beobachtet bei der Vergleichung zweier Abstände oder zweier gerader Linien, so findet man, daß kleine Unterschiede nur bemerkt werden, wenn man nach einander den Fixationspunkt bald in die Mitte der einen, bald in die Mitte der andern Linie bringt, sodafs die beiden Linien nach einander auf denselben Theilen der Netzhaut abgebildet werden. Bei festgehaltenem Fixationspunkte läfst man manches als gleich durchgehen, was sich sogleich als verschieden zu erkennen giebt, wenn man mit der Richtung des Blicks in der angegebenen Weise wechselt.

Sehr viel schwieriger erweist sich die Vergleichung von horizontalen Längen mit verticalen, und es zeigt sich dabei ein constanter Fehler, indem wir nämlich geneigt sind, verticale Linien für länger zu halten als gleich lange horizontale. Man sieht dies am besten, wenn man sich bemüht, nach dem Augenmaafse ein Quadrat zu zeichnen auf einem Papiere, welches man senkrecht gegen die Gesichtslinie hält. Man macht die Höhe immer zu niedrig, und zwar, wie ich bei mir selbst finde, um $\frac{1}{30}$ bis $\frac{1}{60}$ der Grundlinie, im Mittel etwa um $\frac{1}{40}$; doch scheint dieses Verhältnifs in verschiedenen Augen sehr zu variiren, WUNDT¹ giebt die Gröfse dieser Differenz an auf ein Fünftheil.

VOLKMANN² hat auch Versuche angestellt über die Fehlergrößen, welche bei Schätzung des Verhältnisses zweier nicht gleichen Distanzen begangen wurden. Der Beobachter stellte eine bewegliche Linie zwischen zwei andern ein auf $\frac{1}{10}$, $\frac{2}{10}$, $\frac{3}{10}$, $\frac{4}{10}$, $\frac{5}{10}$ der ganzen Entfernung. Dabei zeigten sich erstens Abweichungen zwischen dem Mittel aller Einstellungen für ein gewisses Gröfsenverhältnifs und der wirklich richtigen Einstellungen, welche VOLKMANN constante Fehler nennt, und zweitens Abweichungen von dem

¹ W. WUNDT, *Vorlesungen über Menschen- und Thierseele*, S 255. Leipzig, 1863.

² A. W. VOLKMANN, *Berichte der Kön. Sächs. Ges.* vom 7. August 1858.

Mittel der Einstellungen oder variable Fehler. Die constanten Fehler machten die links liegende Distanz immer etwas zu groß im Verhältniß zur rechts liegenden. Als die zu theilende GröÙe eine Pariser Linie war, betrug der Werth der constanten Fehler in Tausendtheilen einer Linie im Mittel aus je 40 Versuchen:

Constanter Fehler, aus je 40 Versuchen berechnet.

Ausgangspunkt von	Geforderte Verhältnisse.								
	0,4	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Links	13,4	19,8	6,7	11,7	3,4	13,4	24,8	10,0	6,8
Rechts	-10,8	-9,3	-20,0	-12,0	-6,2	-4,5	-9,5	-19,7	-19,4
Unten	+2,9	+2,9	-12,1	-5,9	-13,5	-2,2	+7,2	+5,1	+11,6
Oben	-5,0	-4,7	-6,0	+3,9	+9,7	+13,6	-17,4	-7,3	-10,8

In den beiden oberen Reihen lag die zu theilende Distanz horizontal, ⁵⁴⁴ in den beiden unteren vertical. Als Ausgangspunkt ist das Ende derselben angegeben, von wo der abzumessende Theil angefangen wurde abzumessen.

Die variablen Fehler wurden nach ihrer absoluten GröÙe ohne Rücksicht auf das Vorzeichen addirt und dann durch die Anzahl der Beobachtungen dividirt. Es ergaben sich nahehin gleiche mittlere GröÙen derselben für complementäre Verhältnisse. Ihre GröÙe war im Mittel von je 160 Beobachtungen (für 0,5 nur 80 Beobachtungen)

Mittelwerthe der variablen Fehler.

Zu theilende Distanz	Gefordertes Verhältniß				
	0,1 und 0,9	0,2 und 0,8	0,3 und 0,7	0,4 und 0,6	0,5
Horizontal	6,73	4,36	3,01	2,64	1,11
Vertical	7,09	9,01	9,95	8,61	7,98.

Absolut größer, aber relativ etwas kleiner wurden die Fehler in einer anderen Versuchsreihe, wo der ganze zu theilende Abstand 100 Millimeter betrug, und die Grenzen der betreffenden Abstände durch drei feine von dem Maafsstabe herabhängende Menschenhaare angezeigt waren. Die GröÙen sind in Zehntelmillimetern angegeben, sodaÙ die Einheit wieder ein Tausendtheil der zu theilenden GröÙe beträgt.

Constante Fehler.

Ausgangspunkt von	Gefordertes Verhältniß								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Links	2,35	7,45	0,5	10,7	4,15	12,4	11,3	0,85	4,10
Rechts	-1,8	+0,6	-11,1	-5,2	-4,0	-7,5	-5,5	-4,4	-2,8

Mittelwerthe der variablen Fehler.

Für den Bruch	0,1	und	0,9	=	2,6
"	"	"	0,2	"	0,8 = 5,6
"	"	"	0,3	"	0,7 = 7,9
"	"	"	0,4	"	0,6 = 6,5
"	"	"	0,5		= 2,8.

Wenn nun nicht bloß gleiche Entfernungen als gleich erkannt, sondern ungleiche Entfernungen ihrem Größenverhältniß nach erkannt werden sollen, so ist es nöthig, diejenige Linie zwischen den Endpunkten der gegebenen Entfernung zu bestimmen, welche als Maafs der Entfernung zu benutzen ist. In der Ebene ist dies die gerade Linie. Im Blickfelde, als einer gekrümmt erscheinenden Fläche, können gerade Linien nicht gezogen werden, und selbst um kürzeste Linien auf der Fläche zu ziehen, müßten wir eine genaue Anschauung von der Krümmung der Fläche des Blickfeldes mitbringen, die wir nicht bestimmt genug haben. Wenn man sich das Blickfeld als eine Kugelfläche vorstellt, deren Mittelpunkt der Drehpunkt des Auges ist, wie dies zum Zwecke wissenschaftlicher geometrischer Erörterungen gewöhnlich geschieht, so könnte man vermuthen, daß objectiv gerade Linien der Außenwelt, die sich als größte Kreise in das kugelförmige Blickfeld projiciren, als kürzeste Linien, als Linien ohne Krümmung in dem Gesichtsfelde erscheinen müßten. Das ist aber nur unter gewissen Bedingungen der Fall.

Wenn wir eine gerade Linie betrachten, zum Beispiel die Kante eines Lineals, und durch das Augenmaafs zu ermitteln suchen, ob sie wirklich gerade oder gekrümmt sei, so zeigt sich das Urtheil nach der schon im vorigen Paragraphen erwähnten Täuschung abhängig von der Richtung des Auges im Kopfe. Halten wir das Lineal horizontal und zu niedrig, so erscheint die Kante nach oben concav; halten wir es zu hoch, so erscheint sie nach unten concav. Daß dabei eine Augentäuschung stattfindet, erkennt man schnell, wenn man das Lineal so umwendet, daß die Kante statt nach oben nun nach unten sieht. Dann müßte eine wirklich nach unten concave Kante jetzt nach oben concav sein, und umgekehrt. Aber wenn das Lineal richtig und gerade ist, bleibt die Augentäuschung bestehen. Hält man das Lineal aber so, daß die Mitte seiner Kante der Primärstellung entspricht, so erscheint diese gerade, wenn sie wirklich gerade ist. Nun wählt man allerdings durch einen natürlichen Trieb die Primärstellung, wenn man über eine solche Frage durch das Augenmaafs entscheiden soll, doch ist die Sicherheit, mit der man diese Stellung einhält, nicht sehr groß. Dagegen finde ich, daß ich ziemlich geringe Krümmungen von Linealen in der Primärstellung erkennen kann, wenn ich das Lineal umwende, so daß ich bald die eine, bald die andere Fläche desselben gegen mich kehre. Auf diese Weise konnte ich bei einem Elfenbeinleale von 200 Millimeter Länge, welches convex war und dessen Krümmung in der Mitte nur 0,35 Millimeter von der

geraden Linie nach ausen bauchte, dessen Krümmungsradius demnach etwa 14 Meter betrug, die Krümmung mit dem Auge richtig erkennen, ebenso bei einem anderen concaven Lineale, welches in der Mitte ein halbes Millimeter abwich. So genaue Bestimmungen sind aber nicht bei fixirtem Blicke, sondern nur mit Hilfe der Augenbewegungen möglich.

Wir sind ferner im Stande, mit großer Genauigkeit zu entscheiden, ob gerade Linien einander parallel sind oder nicht. Um das zu ermitteln, lassen wir den Blick an einer von ihnen, oder in der Mitte zwischen ihnen hin und hergehen, und erkennen dann mit ziemlich großer Genauigkeit, ob ihr Abstand nach dem einen Ende hin ebenso groß, oder ob er größer ist als am andern Ende. So sind wir ferner auch mit verhältnißmäßig großer Sicherheit im Stande zu erkennen, daß zwei Winkel, deren Schenkel einander parallel gerichtet sind, einander gleich groß sind, weil wir eine kleine Abweichung vom Parallelismus der Schenkel leicht erkennen und daraus dann auf Ungleichheit der Winkel schließen. Nach Versuchen von E. MACH¹ geschieht die Beurtheilung des Parallelismus genauer für horizontale und verticale Linien als für geneigte. Dagegen ist die Vergleichung solcher Winkel, deren Schenkel nicht parallel mit einander sind, nicht nur sehr unsicher, sondern auch ziemlich regelmäßigen constanten Fehlern unterworfen.

Verhältnißmäßig die einfachste Aufgabe dieser Art ist, zu entscheiden, ob ein Winkel seinem Nebenwinkel gleich und also ein rechter sei. Wenn von zwei sich rechtwinkelig kreuzenden geraden Linien die eine horizontal, die andere vertical ist, so erscheinen für das rechte Auge der meisten Individuen die nach rechts oben und links unten liegenden rechten Winkel wie stumpfe, die beiden andern wie spitze Winkel. Für das linke Auge umgekehrt erscheinen die dem rechten Auge stumpf erscheinenden Winkel spitz, die spitzen stumpf. Dabei ist zu beachten, daß man beide Augen nach einander senkrecht gegen die Fläche der Zeichnung auf den Kreuzungspunkt der Linien einstellen muß. Versucht man dagegen nach dem Augenmaasse zu einer gegebenen Horizontallinie eine Verticale zu ziehen, so weicht deren oberes Ende um etwa einen Grad nach rechts herüber, wenn man mit dem rechten Auge sehend die Zeichnung gemacht hat, und nach links, wenn es mit dem linken Auge geschah. So stellt *Fig. 212* (auf S. 688) ein für mein rechtes Auge scheinbar richtiges rechtwinkeliges Kreuz der Linien *ab* und *cd* vor, während die Linienstücke γ und δ die Lage der wirklich richtigen Verticalen bezeichnen. Sehe ich mit dem linken Auge dieselbe Zeichnung an, so erscheint mir das obere Ende von *cd* im Gegentheil übertrieben nach rechts geneigt. 546

Die Größe des Irrthums, den man betreffs der rechten Winkel begeht, hängt von der Neigung ihrer Schenkel gegen den Netzhorizont ab. Ich sehe rechte Winkel richtig mit dem rechten Auge, wenn das obere Ende des einen Schenkels um etwa 18 Grad von der Verticale nach links

¹ E. MACH, *Sitzungsber. d. K. K. Akad. zu Wien*, 1861, Bd. XLIII. 215—224.

abweicht, mit dem linken Auge, wenn es um etwa ebenso viel nach rechts abweicht. Dagegen erscheint der Unterschied am größten, wenn die Schenkel um 45 Grad von der zuletzt genannten Lage aus gedreht werden, wobei die nach rechts und links geöffneten Winkel etwa wie Winkel von 92° , die nach oben und unten gekehrten wie 88° erscheinen.

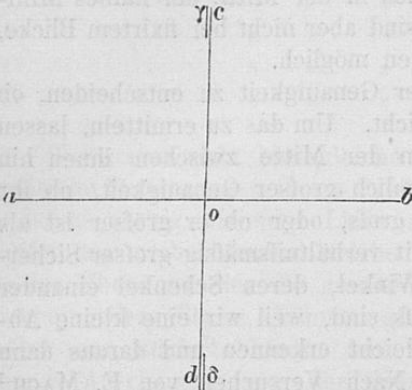


Fig. 212.

Wenn der eine Schenkel horizontal liegt, erscheinen als rechte Winkel für meine Augen solche von $91^\circ,2$ und $88^\circ,8$; bei VOLKMANN¹ beträgt der für das linke Auge $91^\circ,1$, für das rechte $90^\circ,6$; doch hat letzterer Beobachter bei diesen Versuchen nicht ein Kreuz beobachtet, sondern eine einzelne Linie bald hori-

zontal, bald vertical zu stellen gestrebt; die einzelnen Beobachtungen sind dabei je 60 Mal wiederholt worden.

Ebenso finde ich, daß man auffallend große Fehler macht, wenn man einen Winkel von 30 bis 45 Grad zeichnet, dessen einer Schenkel horizontal liegt, und sich dann bemüht nach dem Augenmaasse eine dritte, der Verticalen nähere Linie durch den Scheitel des genannten Winkels zu ziehen, so daß ein zweiter Winkel entsteht, der jenem ersten gleich sei. Man macht diesen zweiten regelmässig beträchtlich zu groß. Wenn der erste Winkel 30° betrug, machte ich den zweiten größer als 34°, gleichviel ob ich mit dem rechten oder linken Auge hinsah, und ob der Winkel sich nach rechts oder links öffnete. Drehte ich die Figur aber so, daß der zuletzt gezeichnete Schenkel nun horizontal lag, so erschien der Größenunterschied übertrieben.

Dahin gehört auch die Thatsache, daß in einem richtig gezeichneten gleichseitigen Dreieck, dessen eine Seite horizontal liegt, der Winkel an der Spitze immer kleiner erscheint, als die Winkel an der Basis.

Fragen wir nun, wie ist es überhaupt möglich, daß Raumgrößen, die verschiedenen Theilen des Sehfeldes angehören, mit einander verglichen werden können, so lehren uns die oben erwähnten Selbstbeobachtungen schon eine Methode der Vergleichung, so oft besagte Raumgrößen so liegen, daß sie nach einander auf demselben Theile der Netzhaut, und zwar am besten auf ihrer Mitte, so abgebildet werden können, daß ihre entsprechenden Punkte nach einander auf dieselben Punkte der Netzhaut fallen. In der That ist dies das Verfahren, welches wir anwenden, um nach dem Augenmaasse zum Beispiele die Länge zweier geraden Linien *A* und *B*, die einander parallel sind, zu vergleichen. Wir richten den Blick erst auf die

¹ A. W. VOLKMANN, *Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik*. Heft 2. S. 224 u. 225. Leipzig, 1864.

Mitte von A , dann auf die Mitte von B , dann wieder von A und so fort, und suchen zu ermitteln, ob wir in beiden Fällen ganz denselben Eindruck erhalten, d. h. ob dieselben Netzhautpunkte in derselben Erstreckung von den Bildern beider Linien getroffen werden. Dabei brauchen wir offenbar von der Form und Länge des Bildes auf der Netzhaut nichts zu wissen. Die Netzhaut ist wie ein Zirkel, dessen Spitzen wir nach einander an die Enden verschiedener Linien ansetzen, um zu sehen, ob sie gleich lang sind, oder nicht, wobei wir über die Entfernung der Zirkelspitzen und die Form des Zirkels nichts weiter zu wissen brauchen, als dafs sie unverändert geblieben sind.

Ein Unterschied aber ist zwischen der Vergleichung mittels der Netzhaut und der mittels des Zirkels. Die Verbindungslinie der Zirkelspitzen können wir nach jeder Richtung hinwenden, das können wir aber dem Gesetze der Augenbewegungen zufolge nicht thun mit der Verbindungslinie je zweier Netzhautpunkte, wenn wir nicht ausgiebige Bewegungen mit dem Kopfe machen wollen, welche wegen der damit verbundenen gröfseren Anstrengung lange nicht so häufig und so schnell wechselnd gemacht werden können, und wenn sie gemacht werden, meist eine wesentliche Veränderung des Gesichtspunkts, des Ortes unseres Auges im Raume und somit der ganzen perspectivischen Ansicht zu Folge haben. Wenn ab und $\alpha\beta$ zwei Paare von Punkten im Gesichtsfelde sind, deren Entfernung verglichen werden soll, und ich etwa zuerst a fixirt habe, so dafs sich a auf dem Centrum der Netzhautgrube A , und der Punkt b auf dem Netzhautpunkte B abgebildet hat, wenn ich dann das Auge wende und α fixire, so dafs α auf dem Centrum der Netzhaut A abgebildet ist, so wird der Netzhautpunkt B bei der neuen Stellung der Gesichtslinie eine ganz bestimmte Lage haben, die ich ohne Bewegung des ganzen Kopfes nicht willkürlich ändern kann, und die Richtung der Linie $\alpha\beta$ im Gesichtsfelde mufs eine ganz bestimmte sein, damit sich β auf B abbilden kann.

Wenn a , b , α und β nahe genug dem Hauptblickpunkte liegen, dafs wir das sie umschliessende Stück des Gesichtsfeldes als Ebene betrachten können, so können die Linien ab und $\alpha\beta$ nach einander auf denselben Netzhautpunkten nur dann abgebildet werden, wenn sie einander parallel sind. Eben deshalb können nun die Längen zweier paralleler Linien gut und sicher miteinander verglichen werden, während wir bei der Vergleichung nicht paralleler Linien, selbst wenn sie einander nahe liegen, grofsen Irrthümern ausgesetzt sind. 548

In derselben Weise kann, wie schon oben angeführt ist, der Parallelismus zweier Linien durch die Gleichheit ihrer Abstände an allen Stellen, und die Gleichheit von Winkeln mit parallelen Schenkeln gut beurtheilt werden.

Wenn nun eine Linie im Gesichtsfelde als gerade anerkannt werden soll, und sie geht durch den Hauptblickpunkt, so können wir, indem wir das Auge an ihr hingleiten lassen, ebenfalls ihre einzelnen Theile alle nach einander auf derselben Linie der Netzhaut abbilden. Wir haben im vorigen

Paragraphen gesehen, dafs wenn wir von einem geraden Linienstück, welches den Hauptblickpunkt schneidet, ein Nachbild entwickeln und den Blick in Richtung des Meridians wandern lassen, in welchem jenes Linienstück liegt, das Nachbild immer mit jenem Meridiane zusammenfällt. Das Nachbild bezeichnet bei jenen Versuchen die Projectionen jener Netzhautstellen in das Gesichtsfeld, welche den Eindruck des linienförmigen Objectes empfangen haben, und es folgt aus diesem Versuche, dafs alle Theile eines solchen Meridians nach einander auf denselben Netzhautpunkten abgebildet werden können.

Indem also das Auge einem solchen Meridiane des Sehfeldes folgt, verschiebt sich die entsprechende Linie des Netzhautbildes auf der entsprechenden Linie der Netzhaut selbst, indem beide fortdauernd congruent zusammenfallen, und vor dem Auge verschiebt sich das Sehfeld gegen das Blickbild so, dafs der betreffende Meridian des Sehfeldes sich in dem des Blickfeldes und stets mit ihm zusammenfallend verschiebt.

Dergleichen Linien im Blickfelde, deren Bild sich in sich selbst verschiebt, sind nun auch die im vorigen Paragraphen (Seite 651) erwähnten Directionskreise oder Richtkreise, welche alle durch den Occipitalpunkt des Blickfeldes hindurchgehen. Dort ist nachgewiesen worden, dafs, wenn ein linienförmiges Nachbild bei Fixirung eines Punktes eines solchen Richtkreises mit seiner Richtung congruirt, es auch in allen anderen Punkten mit ihm congruirt. Da das Nachbild auf der Netzhaut festliegt, so wird dadurch auch constatirt, dafs die Linienelemente eines solchen Richtkreises sich, wenn wir ihn mit dem Blicke durchlaufen, fortdauernd auf derselben Netzhautlinie abbilden.

Dafs ein linienförmiges Nachbild von geringer Länge mit denjenigen andern Directionskreisen congruirt, welche im Occipitalpunkte dieselbe Tangente haben, ist ebenfalls an der citirten Stelle schon bemerkt worden.

Durch die erwähnten Eigenthümlichkeiten bekommen nun die Richtkreise für das Auge eine ganz besondere Bedeutung. Die gerade Linie in der Ebene zeichnet sich dadurch vor allen anderen aus, dafs jedes Stück derselben jedem anderen Stücke congruent ist, wie man die beiden auch zusammenlegen mag. Die Eigenschaft der Congruenz jedes Theils mit jedem andern Theile und die damit zusammenhängende Verschiebbarkeit der Linie in sich selbst theilt mit der geraden Linie nur noch der Kreis. Aber zwei Kreisbögen von gleicher Länge und Krümmung müssen schon in einer bestimmten Weise zusammengelegt werden, um zu congruiren. Man kann ihre Enden auch so aufeinander legen, dafs die Linienstücke selbst nicht congruiren. Auf dieser Eigenschaft der geraden Linie beruht auch wesentlich ihre Bedeutung als Längenmaafs. Denn dafür können wir nur eine Linie gebrauchen, die eindeutig bestimmt ist, wenn ihre Endpunkte bestimmt sind, und deren jeder Theil congruierend auf jeden andern gelegt werden kann.

Im Blickfelde giebt es nun nur eine Art von Linien, an denen wir durch einen unmittelbaren Act der Empfindung constatiren können, dafs sie

in sich selbst verschiebbar und sich selbst also in allen ihren Theilen congruent seien; das sind, wie die vorausgehende Erörterung zeigt, unter Voraussetzung des LISTING'schen Gesetzes, die Richtkreise. Zwar können auch andere Kreise im Blickfelde erscheinen, die wir für in sich selbst verschiebbar erklären müssen, aber wir können dies nur durch Messungen und Schlüsse, nicht durch einen unmittelbaren Act der Empfindung constatiren.

Wenn ein Auge in seinen Bewegungen abweicht vom LISTING'schen Gesetze, so existiren bei einem solchen nicht nothwendig Linien, die bei Bewegungen des Blicks in ganzer Länge in sich selbst verschiebbar sind; aber man wird jedes Mal Linien construiren können, deren Elemente alle nacheinander auf demselben das Centrum der Netzhaut schneidenden Linien-elemente der Netzhaut abgebildet werden können. Solche wollen wir Richtlinien des Blickfeldes nennen. Nur unter Voraussetzung des LISTING'schen Gesetzes für die Augenbewegungen sind alle Richtlinien des Blickfeldes in sich selbst verschieblich und erscheinen dem Auge, dessen Blick an ihnen entlang läuft, fortdauernd in unverändertem Netzhautbilde. Es ist dies eine wesentliche Eigenthümlichkeit der dem LISTING'schen Gesetze folgenden Augenbewegungen.

Gerade Linien des objectiven Raumes erscheinen im kugelförmigen Gesichtsfelde als größte Kreise desselben. Größte Kreise fallen mit den Richtkreisen nur zusammen, wenn sie durch den Hauptblickpunkt (die Primärstellung der Blicklinie) gehen. Dann erscheinen kurze Stücke von ihnen, wie die oben beschriebenen Versuche zeigen, als gerade Linien, sonst aber gekrümmt, und zwar entgegengesetzt der wirklichen Krümmung der Richtkreise gekrümmt.

Die Richtkreise, beziehlich Richtlinien, müssen in der That in dem flächenhaften Blickfelde die Stelle der geraden Linien, welches die Linien constanter Richtung in der Ebene sind, vertreten. Wir können mit einem kurzen Lineal in der Ebene eine beliebig lange gerade Linie ziehen, indem wir zuerst eine solche ziehen, so lang als das Lineal es erlaubt, dann das Lineal längs der gezogenen Linie eine Strecke weit verschieben und so fortfahren. Ist das Lineal genau gerade, so erhalten wir bei diesem Verfahren eine gerade Linie; ist es selbst etwas gekrümmt, so erhalten wir einen Kreis. Statt des verschiebbaren Lineals dient uns im Gesichtsfelde die mit einem linienhaften Gesichtseindruck, der unter Umständen bis zum Nachbilde gesteigert sein kann, versehene centrale Stelle des deutlichsten Sehens. Wir verschieben den Blick in Richtung dieser Linie, dabei verschiebt sich die Linie selbst und zeigt uns die Fortsetzung dieser Richtung an. 550 In der Ebene können wir jenes Verfahren gleich gut mit jedem geradlinigen oder bogigen Lineal ausführen, im Gesichtsfelde aber ist für jede Richtung des Blicks und der Bewegung nur eine einzige Art von Linie möglich, die sich fortdauernd in ihrer eigenen Richtung verschieben läßt.

Wir sehen also, wie durch die Augenbewegungen und ihr bestimmtes Gesetz gewisse Abmessungen im Blickfelde möglich werden. Nun finden

wir aber, wie oben schon bemerkt worden ist, daß auch bei vollkommen ruhendem Auge im indirecten Sehen eine gewisse Beurtheilung der Abmessungen des Sehfeldes möglich ist, die natürlich sehr viel unbestimmter ist, als die, welche mittels des bewegten Blicks gewonnen wird, schon weil das indirecte Sehen überhaupt keine große Genauigkeit gewährt. Daß aber die Fähigkeit zu solcher Abmessung da sei, zeigt sich am schlagendsten an subjectiven Erscheinungen, die überhaupt nur im indirecten Sehen beobachtet werden können, wie an der Aderfigur. Wir sind im Stande, eine solche Figur nachzuzeichnen, ihre Verziehungen bei wechselnder Beleuchtungsrichtung wahrzunehmen, und haben überhaupt eine bestimmte flächenhafte Anschauung derselben, trotzdem wir nicht im Stande sind, durch Bewegungen des Auges die Lage derselben auf der Netzhaut zu verändern und die einzelnen Theile derselben mit dem Blicke zu durchlaufen. Ebenso zeigt sich bei momentaner Beleuchtung des Gesichtsfeldes durch einen Blitz, dessen Dauer zu kurz ist, als daß eine merkliche Bewegung des Auges während der Dauer der Beleuchtung ausgeführt werden könnte, daß wir im Stande sind, die Gestalt der vor uns liegenden Objecte der Hauptsache nach richtig zu beurtheilen.

Es kommen aber auch bei dieser Art der Betrachtung eigenthümliche Täuschungen des Augenmaafses vor, welche in so fern wichtig sind, als sie uns Andeutungen über die Art, wie wir zur Ausmessung des Feldes des indirecten Sehens gekommen sind, zu geben scheinen.

Erstens gehören hierher die schon vorher beschriebenen Täuschungen in der Vergleichung von Winkeln mit nicht parallelen Schenkeln und von Linien nicht übereinstimmender Richtung, weil, wie die Selbstbeobachtung lehrt, Bewegung des Auges in diesen Fällen nichts beiträgt und auch nichts beitragen kann zur Verbesserung des Urtheils. Die genannten Täuschungen treten ebenso gut ein bei strenger Fixation eines Punktes als bei wanderndem Blick.

Dazu kommt nun noch ein anderes System von Täuschungen, die ich bisher noch nirgends erwähnt gefunden habe, und welche sich beziehen auf die als ungekrümmt erscheinenden Linien des Sehfeldes und auf die scheinbare Größe seiner peripherischen Theile. In der Ebene sind die geraden Linien gleichzeitig die kürzesten und die, welche weder nach der einen, noch nach der anderen Seite hin eine Krümmung zeigen. Auf der Kugel sind es die größten Kreise; deren Krümmungsradius ist senkrecht zur Kugelfläche gerichtet, in der Kugelfläche selbst zeigen sie keine Krümmung. Alle Kreise dagegen, welche kleiner sind als ein größter, erscheinen concav auf der Seite, wo das kleinere von ihnen abgegrenzte Kugelstück liegt, convex auf der entgegengesetzten Seite.

Wir können nun fragen, welches sind die ungekrümmten Linien im 551 Sehfelde? Sind es, wie man zunächst vielleicht vermuthen sollte, die größten Kreise des kugelig gedachten Feldes? Davon, daß diese es nicht in allen Fällen sind, kann man sich leicht überzeugen.

Man wiederhole den früher erwähnten Versuch mit drei Sternen mit fixirtem Blicke, während früher Bewegung des Blicks über dieselben hin vorausgesetzt war. Man suche sich am Sternenhimmel drei helle Sterne, die möglichst annähernd in einem grössten Kreise liegen, was man mittels eines ausgespannten Fadens, an dem man vorbei nach den drei Sternen hin visirt, hinreichend genau erkennen kann. Man wähle diese Sterne möglichst weit von einander entfernt; doch müssen sie hell genug sein, um auch im indirecten Sehen noch leicht erkannt und von den benachbarten kleineren unterschieden zu werden. Wenn man solche gefunden hat, fixire man den mittleren; sie werden in einer geraden Linie zu liegen scheinen, oder wenn sie nicht ganz genau in einem grössten Kreise liegen, so erkennt man richtig den Sinn und ungefähr auch die Grösse der Abweichung. Nun wähle man aber den Fixationspunkt in einiger Entfernung auf der einen oder anderen Seite der Sternenreihe, man wird sogleich und sehr deutlich die Reihe gegen den Fixationspunkt concav sehen, um desto mehr concav, je weiter entfernt der Fixationspunkt von der Reihe der drei Sterne ist. Daraus lernen wir, dafs am Sternenhimmel bei unbewegter Blickrichtung ein grösster Kreis nur dann ungekrümmt erscheint, wenn er durch den Fixationspunkt geht, dagegen concav gegen den Fixationspunkt, wenn er das nicht thut. Es folgt daraus weiter, dafs Linien, welche auf den peripherischen Theilen des Gesichtsfeldes ungekrümmt erscheinen sollen, in Wahrheit auf dem Himmelsgewölbe convex gegen den Fixationspunkt sein müssen.

An irdischen Objecten wird man in der Beurtheilung der Ausmessungen des Sehfeldes zwar leicht beeinflusst durch die schon vorher erworbene Kenntnifs der wirklichen Ausmessungen des Objects, es gelingt aber doch auch an solchen dieselbe Täuschung wahrzunehmen.

Am zweckmässigsten ist es, sich weit über eine grosse Tischplatte zu beugen, so dafs man keine erkennbaren geraden Linien mehr im Gesichtsfelde hat, nach denen man sich richten könnte, und einen Punkt der Platte zu fixiren. Wenn man dann in einiger Entfernung vom Fixationspunkte drei Papierschnitzelchen oder andere helle Objecte hinlegt und dieselben in eine gerade Linie zu richten strebt, so findet man stets, sobald man den Blick auf die Papierchen selbst richtet, dafs man sie in einen gegen den früheren Fixationspunkt convexen Bogen gelegt hat.

Wenn man über dieselbe Tischplatte einen langen von zwei parallelen Linien begrenzten und etwa drei Zoll breiten Papierstreifen legt und dessen Mitte fixirt, so bemerkt man, dafs seine Enden im indirecten Sehen schmaler als die Mitte erscheinen, und dafs er von zwei mit ihrer Convacität gegen einander sehenden Bögen begrenzt erscheint.

An geraden Linien von geringerer scheinbarer Erstreckung bemerkt man die Krümmung meistens nicht, weil wir viel mehr geneigt sind, sie als gerade Linien der körperlichen Objecte, denn als grösste Kreise des Gesichtsfeldes zu betrachten und zu deuten.

552

Während nun grösste Kreise concav gegen den Fixationspunkt erscheinen, wenn sie nicht durch diesen selbst hindurchgehen, so erscheinen im Gegentheil Kreise, welche Parallelkreise zu einem durch den Fixationspunkt gehenden grössten Kreise sind, convex gegen den genannten Punkt. Man biege, um dies zu prüfen, einen drei bis fünf Zoll breiten Papierstreifen zu einem Halbcylinder und bringe das Auge in dessen Axe. Fixirt man nun die Mitte des Papierstreifens, so scheint derselbe nach beiden Seiten hin breiter zu werden und von zwei mit der Convexität gegen einander gekehrten Bögen begrenzt. Die seitlichen Theile des Streifens befinden sich in derselben Entfernung vom Auge, wie die Mitte desselben, und erscheinen deshalb, geometrisch betrachtet, unter demselben Gesichtswinkel, wie die Mitte, während sie scheinbar im Sehfelde sich grösser darstellen als die Mitte des Streifens.

Denken wir uns den Fixationspunkt am Horizont gelegen, über ihm befinde sich in der Höhe h ein Punkt, durch den im indirecten Sehen eine scheinbar ungekrümmte horizontal verlaufende Linie gezogen werden soll. Der grösste Kreis, welcher rechts und links in gleicher Entfernung den Horizont schneidet und in der Entfernung h unter dem Occipitalpunkt des Beobachters hindurchgeht, erscheint nach unten concav. Ein wirklich überall horizontal verlaufender Parallelkreis des Horizontes, der in der Entfernung h auch über dem Occipitalpunkt hinweggeht, entspricht ebenfalls nicht der Aufgabe, er erscheint convex nach unten. Da der erste dieser Kreise nach unten concav, der zweite convex erscheint, so muß die scheinbar ungekrümmte Linie zwischen diesen beiden liegen, und wenn sie ein Kreis ist, so muß sie weniger als h vom Occipitalpunkt entfernt über oder unter diesem hindurchgehen. Da können wir nun an die Richtkreise des Blickfeldes denken, die durch den Occipitalpunkt selbst hingehen. Versuchen wir es mit diesen.

Zu dem Ende habe ich die Richtkreise des Blickfeldes, welche mit der durch den Fixationspunkt gehenden verticalen und horizontalen Linie übereinstimmende Richtung haben, auf eine ebene Tafel projicirt; sie erscheinen dabei als Hyperbeln. Um sie im ganzen Sehfelde, auch in den indirect gesehenen Theilen desselben möglichst deutlich erscheinen zu lassen, habe ich die Felder des von den Curven gebildeten Gitters schachbrettartig schwarz und weiss gemalt, wie *Fig. 213* in verkleinertem Maassstabe $\frac{3}{16}$ zeigt; A bezeichnet die in gleichem Verhältniß verkleinerte Entfernung, in der das Auge des Beobachters von der Tafel, der Mitte derselben gerade gegenüberstehend, entfernt sein muß. Der Mittelpunkt der Tafel wird fixirt. Das Original der *Fig. 213* hatte ich an der Wand des Zimmers, seine Mitte in der Höhe meiner Augen über dem Boden befestigt; ein rechtwinkliges Winkelmaass, dessen Katheten die Länge der für das Auge verlangten Entfernung von 20 Centimeter hatten, diente zur Controlle dieses Abstandes, indem man eine seiner Katheten an die Tafel anlegte und die Spitze des gegenüberliegenden Winkels den äussern Augenwinkel berühren liess.

In der That erscheinen nun die als Hyperbeln¹ projecirten Richtkreise des Blickfeldes unter diesen Umständen im Gesichtsfelde als gerade Linien, 553 oder wenigstens als Linien, die nicht in der Fläche des Sehfeldes gekrümmt sind.

Die einzelnen Verticalreihen und Horizontalreihen schwarzweisser Felder sehen überall gerade und überall gleich breit aus, so lange man unverwandt den Mittelpunkt der Zeichnung fixirt. Natürlich erkennt man aber die Krümmung der seitlich gelegenen Felderreihen, sobald man den Blick nach ihnen hinwendet. Hierbei tritt eine eigenthümliche Täuschung ein. Ich sehe nämlich, so wie ich den Blick wandern lasse, die Zeichnung gewölbt, wie eine flache Schüssel, so daß die Krümmung der Hyperbeln wie eine

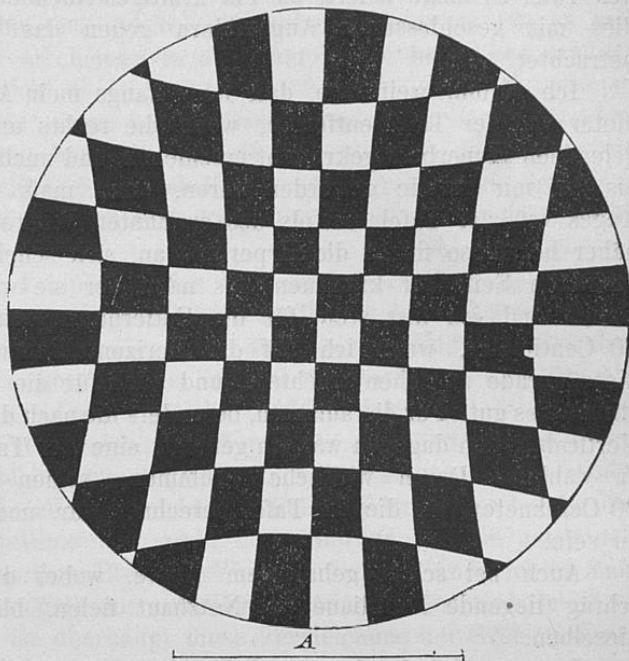


Fig. 213.

Krümmung nach der Fläche erscheint und in dieser gekrümmten Fläche die Linien als grösste Kreise (oder kürzeste Linien) erscheinen. Es wird durch diese Anschauung der Widerspruch zwischen directem und indirectem Sehen einigermaassen aufgehoben. Nach den im Gesichtsfelde selbst gelegenen Richtungen erscheinen die Hyperbeln nicht gekrümmt, nur des Gesichtsfeld selbst erscheint gekrümmt.

Man muß also wohl darauf achten, daß man bei dieser Beobachtung den Blick fest auf den Mittelpunkt der Tafel gerichtet hält. Sollte man sich von der Vorstellung ihrer wirklichen Gestalt nicht so schnell frei machen können, so erleichtert es die Täuschung, wenn man dicht vor das Auge eine Linse hält, in deren Brennpunkt die Tafel liegt. Freilich erscheinen die peripherischen Theile der Tafel dadurch etwas verzerrt; die Brechung in der Linse vergrößert bei sehr schiefer Einfall der Strahlen die Krümmung der Hyperbeln; aber der grössere mittlere Theil der Tafel wird durch die Linse,

¹ Die Gleichung dieser Hyperbeln ist im vorigen Paragraphen auf S. 653 unter 3 c) und den folgenden Nummern gegeben; die Abstände derselben in der mittleren Horizontale und Verticale sind so gewählt, daß sie gleichen Gesichtswinkeln entsprechen.

wie in unendlicher Entfernung liegend gesehen und dadurch die Abstraction von seiner wahren körperlichen Gestalt begünstigt.

Am vollkommensten gelingt die Täuschung, wenn man den Mittelpunkt der Tafel so lange fixiert, bis ein kräftiges Nachbild entwickelt ist und man dies mit geschlossenen Augenlidern gegen das helle Fenster gewendet betrachtet.

554 Ich verfuhr weiter so, daß ich anfangs mein Auge weiter als 20 Centimeter von der Tafel entfernte, wobei die rechts und links, oben und unten gelegenen Hyperbeln gekrümmt erschienen, und mich dann allmählich näherte, bis sie mir gerade geworden waren, dann maß ich den Abstand meines Auges von der Tafel mittels des erwähnten Winkelmaasses. Ging ich noch näher heran, so fingen die Hyperbeln an, sich scheinbar nach der entgegengesetzten Seite zu krümmen, als nach der sie wirklich gekrümmt waren. Dabei fand ich fast stets für die Entfernung meines Auges von der Tafel 20 Centimeter, wenn ich auf die Horizontallinien der Tafel achtete und diese gerade zu sehen trachtete, und auch für die mittleren Verticalstreifen stimmte es gut. Für die äusseren, besonders die nach der Schläfenseite liegenden Verticalstreifen dagegen war ich geneigt, eine der Tafel etwas nähere Stellung zu wählen. Deren wirkliche Krümmung schien in der Entfernung von 20 Centimeter, für die die Tafel berechnet war, noch nicht ganz aufgehoben zu sein.

Auch bei schief gehaltenem Kopfe, wobei die Linien der Tafel auf schräg liegende Meridiane der Netzhaut fielen, blieben die Erscheinungen dieselben.

Daraus geht also hervor, daß so weit die Unbestimmtheit des indirecten Sehens und des entsprechenden Augenmaasses zu beurtheilen erlaubt, die Richtlinien des Blickfeldes, wie sie im Sehfelde bei fixirtem Hauptblickpunkte erscheinen würden, die scheinbar ungekrümmten, also auch scheinbar kürzesten Linien des Sehfeldes sind.

Diese besondere Gestalt der kürzesten Linien im Sehfelde hat nun noch weitere Folgen für dessen scheinbare Gestalt und die scheinbare Gröfse der Objecte, wie schon vorher bemerkt wurde. Man denke sich den horizontalen Meridian des Sehfeldes gezogen und 10° über dessen Mitte in horizontaler Richtung eine Richtlinie. Diese trifft mit jenem Meridian in 180° Entfernung hinter dem Kopfe des Beobachters zusammen und tangirt ihn dort; in 90° Entfernung aber an den Rändern des Gesichtsfeldes ist die Richtlinie nur noch um 5° senkrecht entfernt von dem genannten Meridiane, und da die beiden Kreise im Sehfelde als parallele Linien erscheinen, so erscheint der senkrechte Abstand beider von 5° am Rande ebenso groß wie der von 10° in der Mitte, und in gleicher Weise erscheinen auch an anderen Stellen des Randes des Sehfeldes die diesem Rande parallelen Dimensionen der Bilder relativ zu groß.

Dies zeigt sich nun auch in folgenden Versuchen. Man stelle sich so, daß man zur Seite um etwa 90° vom Fixationspunkt entfernt eine weißse

Thür in einer dunklen Wand, oder einen dunklen Baum vor der hellen Himmelsfläche hat, und beachte, wie hoch diese im indirecten Sehen erscheinen. Man wende dann Auge und Kopf direct nach diesen Gegenständen hin, so wird man finden, daß sie viel niedriger erscheinen, und daß im Gegensatz zu der verminderten Höhe ihre Breite viel mehr heraustritt. Berge am Rande des Gesichtsfeldes erscheinen in ähnlicher Weise höher und steiler, als wenn man direct hinblickt.

Andererseits lege man einen weissen Bogen Papier vor sich auf einen dunklen Fußboden und sehe horizontal gerade aus, so daß das Papier am unteren Rande des Gesichtsfeldes erscheint, es wird relativ zu breit von rechts nach links erscheinen und sich scheinbar zusammenziehen, sobald man direct hinblickt.

Während so die der Peripherie des Sehfeldes parallelen Bögen vergrößert erscheinen, erscheinen die peripherischen Theile der radial verlaufenden Linien etwas verkleinert. Die Hyperbeln der *Fig. 213* sind so construirt, daß aus der Entfernung *A* gesehen die Scheitel der horizontal und die der vertical verlaufenden Hyperbeln um gleiche Gesichtswinkel von je 10 Grad von einander abstehen. Wenn also die Hyperbeln als gerade Linien erscheinen, so sollten die schwarzen und weissen Felder alle als gleich große Quadrate erscheinen. Das ist aber nicht der Fall; vielmehr erscheinen die von der horizontalen Mittellinie weit nach oben und nach unten gelegenen Quadrate zu niedrig gegen ihre Breiten. Weniger deutlich finde ich es, daß die nach rechts und links gelegenen vielleicht etwas zu schmal in ihrer Breite erscheinen. Doch ist überhaupt diese Vergleichung der Größen direct und indirect gesehener Objecte sehr unvollkommen.

Eine farbige kreisförmige Pappscheibe vor einen contrastirenden Grund gehalten, erscheint daher am oberen und unteren Rande des Sehfeldes als eine elliptische Scheibe mit längerem horizontalen Durchmesser. Weniger deutlich zeigt sie sich am rechten und linken Rande des Sehfeldes als eine Ellipse mit längerem verticalen Durchmesser.

Da die Seitentheile des Sehfeldes uns etwas zu hoch und etwas zu schmal erscheinen, so besteht eine gewisse Neigung, sie für näher und schräg gestellt gegen die Gesichtslinie zu halten. Sowie man den Blick nach ihnen hinwendet, scheinen sie zurückzuweichen und sich mehr senkrecht gegen die Blicklinie zu stellen. Es ist dies eine Täuschung, die ich bei weit entfernten Objecten am Horizont, am Sternenhimmel sehr gewöhnlich sehe. Das Sehfeld erscheint mir dann nicht als eine Kugel, in deren Mittelpunkt sich das Auge befindet, sondern es erscheint stärker concav als eine solche; doch möchte ich nicht sagen, daß das monoculare Sehfeld bei unbewegtem Blicke sich uns mit einiger Entschiedenheit als eine bestimmt geformte Fläche darstelle.

In der That lassen sich nun die hauptsächlichsten der eben beschriebenen Eigenthümlichkeiten der Wahrnehmung in folgendem geometrischen Bilde zusammenfassen. Man denke sich zuerst das Blickfeld als eine Hohlkugel,

in deren Mittelpunkt das Auge sich befindet. Man denke Radien vom Mittelpunkte (Richtungslinien des Sehens) gezogen nach den einzelnen Objectpunkten und verlängert bis zur Kugeloberfläche. Wo diese Radien die Kugeloberfläche schneiden, ist das auf die Kugelschale projecirte Bild des Objectes. Man denke sich die Objecte entfernt und nur durch ihre Bilder auf der Kugelfläche des Blickfeldes ersetzt. Das Auge fixire den Hauptblickpunkt; ihm gegenüber liegt der Occipitalpunkt. Ich sage: das Auge sieht die Objecte im Sehfelde scheinbar so vertheilt, wie es sie nach geometrisch richtiger Projection sehen würde, wenn es die Bilder auf der Kugelfläche vom Occipitalpunkte derselben aus ansähe. Oder auch: Das Auge sieht die Gegenstände des Gesichtsfeldes wie in einer vom Occipitalpunkte aus entworfenen stereographischen Projection, diese vom Occipitalpunkte selbst aus betrachtet. Es ist dieselbe Art der Projection, wie sie bei geographischen Karten für Erdhalbkugeln immer angewendet wird.

In der That liegen die im Sehfelde als ungekrümmt erscheinenden 556 Richtkreise in Ebenen, die durch den Occipitalpunkt gehen, und müssen sich also von dort gesehen als geradlinig projeciren. Tangential gerichtete Erstreckungen längs der Peripherie des Sehfeldes müssen relativ gröfser als ihnen parallele Strecken in der Mitte des Feldes erscheinen, weil erstere dem Auge näher sind, als letztere. Dazu kommt nun noch, dafs in der That das Sehfeld jedes Auges, welches geometrisch genommen von rechts nach links etwa 180 Grade einnimmt, scheinbar viel enger ist. Denn die äufsersten nach rechts und links gelegenen Objecte, welche wir noch im indirecten Sehen erkennen können, und deren gerade Verbindungslinie durch unser Auge hindurchgeht, erscheinen uns doch noch immer, wie vor uns liegend, als ob die zu ihnen geführten Richtungslinien des Sehens einen stumpfen oder auch wohl rechten Winkel mit einander bildeten. Namentlich wenn man nach dem Himmel blickt, so dafs man keine irdischen Objecte von bekannter Lage und Gröfse im Sehfelde hat, so scheint das helle Feld, welches man vor sich hat, etwa den Durchmesser eines rechten Winkels von rechts nach links, noch weniger sogar von oben nach unten zu haben, wo Augenbrauen und Wange das Feld etwas verengern. Es macht den Eindruck, als blickte man aus einer gewissen Tiefe des Kopfes hervor in die Außenwelt.

Das eben angeführte geometrische Bild möchte ich nur als solches betrachtet wissen; es fafst die Hauptzüge der scheinbaren Vertheilung im Sehfelde zusammen, aber nicht alle. Die scheinbare Verkürzung der radial gerichteten, vom Hauptblickpunkte auslaufenden Strecken nahe der Peripherie, die namentlich am untern und obern Rande des Gesichtsfeldes deutlich vorhanden ist, wird durch jenes Bild nicht gegeben. Gleiche radiale Strecken würden vielmehr in allen Theilen des Feldes gleich grofs erscheinen, da sie für das im Rückenpunkt der Kugel gelegene Auge durch gleiche Peripheriewinkel gemessen werden, wie für das im Mittelpunkte befindliche durch gleiche Centriwinkel. Zu gleichen Centriwinkeln gehören aber bekanntlich gleiche Peripheriewinkel.

Auch die scheinbare Abweichung der verticalen Meridiane und des Verhältnisses der verticalen und horizontalen Dimensionen ist nicht berücksichtigt.

Wir kommen jetzt zu der Untersuchung, wie kann eine solche Ausmessung des Sehfeldes entstehen.

Im Sinne der nativistischen Theorie ist sie durch gewisse organische Einrichtungen von Geburt auf gegeben, eine Erklärung aus den Gesichtserscheinungen also nicht weiter zu suchen.

Die empiristische Theorie aber wird versuchen müssen, eine solche Erklärung zu finden. Wir setzen dabei voraus, daß das Bewegungsgesetz der Augen ausgebildet sei, was, wie im vorigen Paragraphen gezeigt wurde, ohne eine Kenntniß der Localisation der Eindrücke im Gesichtsfelde geschehen kann, in Folge des Bestrebens, die Veränderungen der Eindrücke bei Bewegung des Auges als abhängig von dieser Bewegung und nicht von Aenderungen der äußeren Objecte zu constatiren. In Wirklichkeit mag, wie schon früher bemerkt wurde, die Ausbildung des Augenmaasses sich theilweise gleichzeitig mit dem Gesetz der Bewegungen entwickeln und die ganze Einübung nicht so methodisch und in einzelne Stadien getrennt vor sich gehen, wie wir es hier der Uebersichtlichkeit wegen haben darstellen müssen. 557
Im Wesentlichen wird dadurch nichts geändert.

Wir haben im Anfange dieses Paragraphen auseinandergesetzt, wie unter Hilfe der Bewegungen des Auges zunächst ermittelt werden kann, in welcher Reihenfolge die Objecte und die durch besondere Localzeichen charakterisirten ihnen entsprechenden Netzhautpunkte in der Fläche jene des Gesichtsfeldes, diese der Netzhaut geordnet sind. Es blieb nur noch übrig, die Entstehung der bestimmten Größenverhältnisse zu erörtern.

Wir haben dann gesehen, wie die Kenntniß gewisser Linien im Blickfelde, die in allen ihren Theilen übereinstimmende Richtung haben, und als in sich selbst verschiebbar wahrzunehmen sind, der Richtlinien, durch das ausgebildete Bewegungsgesetz der Augen gewonnen werden kann.

Wenn wir nun irgend ein Object im indirecten Sehen wahrnehmen, von ihm also einen begrenzten Eindruck auf einen seitlichen Theil der Netzhaut erhalten haben, und dann den Blick jenem Objecte zuwenden, so erhalten wir hinterher einen Eindruck desselben Objects mit seiner gleichen scheinbaren Größe auch auf dem Centrum der Netzhaut, und können also aus Erfahrung allmählich lernen, welchem centralen Eindrücke ein gewisser peripherischer in Qualität und Größe gleich gilt. Dadurch ist die Möglichkeit gegeben, auch mittels des indirecten Sehens, soweit dessen Genauigkeit ausreicht, Objecte ihrer Form und scheinbaren Größe nach beurtheilen zu lernen.

Neben der Größe und Form wird aber auch eine Vergleichung der Richtung des erst indirect und dann direct gesehenen Objectes mit dem zuerst direct gesehenen eintreten, es wird wahrgenommen werden, welche Linien beider Objecte sich auf denselben Meridianen der Netzhaut abbilden.

Diese Vergleichung der Lage wird allerdings etwas verschieden ausfallen müssen, je nachdem wir von der Primärstellung oder von einer Secundärstellung des Blicks ausgehen, obgleich das für normalsichtige Augen geltende LISTING'sche Gesetz die Summe dieser Verschiedenheiten so klein als möglich macht. Im Mittel aller Fälle aber wird die Vergleichung so ausfallen, als wäre das erste Object in der mittleren Stellung, das heißt in der Primärstellung fixirt worden. Außerdem ist schon früher hervorgehoben worden, daß die Primärstellung als die bequemste und zur Orientirung vortheilhafteste am meisten vom Auge eingenommen wird, und daß wir Bewegungen, welche mit Drehung um die Blicklinie verbunden sind, zu vermeiden suchen. So werden wir also durch Erfahrung kennen lernen können, welche Richtungen in den Seitentheilen des Sehfeldes übereinstimmen mit den durch den Fixationspunkt gezogenen Linien, und diese Uebereinstimmung wird sich als Regel so feststellen, wie sie stattfindet, wenn der Fixationspunkt auch Hauptblickpunkt ist, das heißt sämtliche Linienelemente ein und derselben Richtlinie werden im Sehfelde übereinstimmende Richtung zu haben scheinen, und sämtliche Richtlinien, die im Occipitalpunkt einen und denselben Meridian des Sehfeldes tangiren, werden übereinstimmende Richtung haben.

Nun tritt aber diese Bestimmung der Linien von übereinstimmender Richtung in Widerspruch mit den Bestimmungen der scheinbaren Größe, 558 welche bei Vergleichung der direct und indirect gesehenen Objecte anzustellen sind. Linien von übereinstimmender Richtung im Sinne unserer Definition dieses Begriffs können sich nämlich nicht schneiden, denn wo sie sich schneiden, würden sie nicht in übereinstimmender Richtung erscheinen können. Sie erscheinen uns vielmehr thatsächlich parallel und überall in gleichem Abstände. Dadurch wird es aber bedingt, wie wir oben gesehen haben, daß die tangential gerichteten peripherischen Strecken relativ zu groß erscheinen.

Daß wir bei diesen Vergleichungen die Richtung der übereinstimmenden Linien mehr berücksichtigen als die Größe der Objecte, hängt wohl davon ab, daß wir bei undeutlichen und verwaschenen Bildern, wie es die peripherischen des Sehfeldes in hohem Grade sind, Richtungen von Linien noch ziemlich gut und genau erkennen können, wenn die Form und Dimensionen des Objects nur noch sehr ungenau erkannt werden. Wenn man eine feine schwarze Linie unter Umständen betrachtet, wo man nicht für sie accommodiren kann und sie als einen verwaschenen Schattenstreifen sieht, so wird man ihre Breite gar nicht, ihre Länge nur sehr unvollkommen bemessen, ihre Richtung aber noch sehr genau mit der eines scharf gesehenen Fadens vergleichen können, indem man diesen dem Rande des Schattenstreifens parallel oder auch gerade in die Mitte des Schattens einstellt. Nun machen die Bilder in den Seitentheilen des Sehfeldes ungefähr denselben subjectiven Eindruck, wenn auch aus einem ganz andern Grunde, wie Bilder, die wegen schlechter Accommodation sehr verwaschen sind, und es scheint mir deshalb die Annahme

zulässig, und wird auch, wie mir scheint, durch directe Beobachtung bestätigt, dafs man die Richtung der durch sie verlaufenden Linien verhältnifsmäfsig viel sicherer bestimmt, als die Gröfse der dort befindlichen Objecte. Es wird mir wenigstens viel schwerer, mich über die Stellung zu entscheiden, die ich nehmen mufs, um die äufseren Felder des Schachbrettmusters *Fig. 213* gleich breit mit den mittleren zu sehen, als es der Fall ist, wenn ich die Linien gerade gestreckt sehen will.

Dafs an den äufsersten Grenzen des schachbrettförmigen Feldes die Richtlinien noch etwas gekrümmt erschienen, erklärt sich daraus, dafs von der Primärstellung ausgehend diese Stellen nur mit angestrebter Seitenwendung des Auges zu erreichen waren, wie wir sie gewöhnlich nicht anwenden. Um sie mit dem Blicke ohne ungewöhnliche Anstrengung erreichen zu können, mufste der Blicklinie für das Centrum der Scheibe eine Wendung nach der entgegengesetzten Seite gegeben werden. Bei solcher Stellung aber würden die Richtlinien des Sehfeldes an der betreffenden Stelle der Peripherie wirklich weniger gekrümmt sein, als die Hyperbeln.

In dem mittleren deutlich gesehenen Theile des Sehfeldes können wir, wegen seiner geringen Ausdehnung von der Krümmung der Kugelfläche und der auf ihr gezogenen Richtlinien, absehen. Wir können in diesem Theile des Sehfeldes übereinstimmende Richtlinien als parallele gerade Linien betrachten. Hier mufs auch die Vergleichung der Form, Gröfse und Lage der Objecte, wenn wir sie bald indirect, bald direct betrachten, übereinstimmende Resultate geben. Hier wird also auch eine genauere Vergleichung indirect gesehener Strecken mit parallelen direct gesehenen möglich werden, während unsere Vergleichungen solcher Strecken von den peripherischen Theilen des Gesichtsfeldes sehr unsicher und fehlerhaft sind. Nicht übereinstimmende Strecken werden aber auch in der Mitte des Gesichtsfeldes nicht unmittelbar, sondern nur mit Hilfe von Drehungen des Kopfes oder des Objects verglichen werden können, eine Art der Vergleichung, welche nothwendig viel unvollkommener ist, als die durch Drehung des Auges allein. 559

Die oben angegebenen Thatsachen lehren nun auch weiter, dafs man in der That solche Linien und Winkel, welche übereinstimmende Lage haben, und deshalb mit denselben Netzhauptpunkten zur Deckung gebracht werden können, leicht und gut auch der Gröfse nach miteinander vergleicht, während die Gröfsenverhältnisse solcher Linien und Winkel, die nicht übereinstimmende Lage haben, sowohl eine beträchtliche Unsicherheit, als auch gewisse regelmäfsige constante Fehler bei der Vergleichung zeigen. Bis zu einem gewissen Grade lernen wir natürlich auch Linien und Winkel vergleichen, die nicht übereinstimmende Lage haben, wie die Seiten und Winkel eines Quadrats oder eines gleichseitigen Dreiecks, indem wir entweder die Objecte vor uns haben und herumdrehen, so dafs wir sie in verschiedener Stellung erblicken, oder indem wir unseren Kopf drehen. Beides geschieht aber nicht so häufig, nicht in so regelmäfsig wiederkehrender Weise, wie die blofse Bewegung des

Auges, daher die Uebung in Bezug auf die Vergleichung von Objecten nicht übereinstimmender Lage natürlich sehr mangelhaft bleibt.

Bei einer unsicheren Wahrnehmung wird nun unser Urtheil auch leicht durch andere Motive, die darauf Einfluss haben, irre geleitet. Wir werden sehen, dass die Täuschung über die Gröfse der rechten Winkel in einer ganz besonderen Beziehung zum zweiäugigen Sehen steht und deshalb bei verschiedenen normalsichtigen Individuen auch in ziemlich übereinstimmender Gröfse wiederkehrt. Die Täuschung, durch welche uns verticale Linien zu groß erscheinen im Vergleich zu horizontalen, zeigt dagegen sehr große Differenzen bei verschiedenen Individuen, und hier finde ich auch bei mir selbst das Urtheil sehr wechselnd und sehr unsicher. Dabei mag vielleicht von Einfluss sein, dass die meisten Figuren der Art, gegen welche wir unsere Stellung so wechseln, oder deren Stellung gegen uns wir so wechseln lassen können, dass ihre verschieden gerichteten Linien und Winkel sich nach einander auf denselben Netzhautparthien abbilden, solche sind, die auf dem Fußboden gezogen sind, oder auf ebenen Tafeln, die wir, wie unsere Bücher, so in der Hand halten, dass ihr unteres Ende dem Auge näher ist, als das obere. Warum wir diese Haltung wählen, wird sich in der Lehre vom Horopter zeigen. Bei solcher Lage der Linien erscheinen aber in der That verticale Linien immer in perspectivischer Verkürzung, und wir können dadurch geneigt werden, sie immer für länger zu halten, als sie ihrer scheinbaren Gröfse nach sind.

Uebrigens ist ferner ersichtlich, dass wenn einmal durch irgend welche Motive festgestellt ist, welcher Meridian für senkrecht gehalten werden soll, und welches Längenverhältnifs verticaler und horizontaler Linien gleich der Einheit erscheinen soll, dass dann auch die scheinbare Lage jedes anderen Punktes im Sehfeld bestimmt ist.

560

Wenn wir uns hierbei beschränken auf den mittleren Theil des Sehfeldes, welcher annähernd als Ebene betrachtet werden kann, so können wir uns die geometrische Lage der Punkte durch rechtwinkelige Coordinaten gegeben denken. Es sei in *Fig. 214* AB die dem Netzhauthorizont entsprechende Horizontale, CA eine

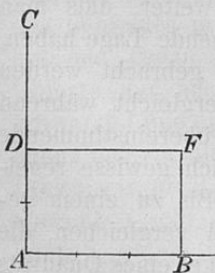
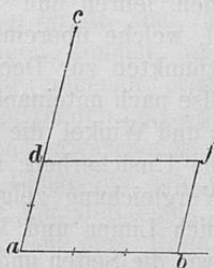


Fig. 214.



Verticale, A der Blickpunkt. Dem entspreche die scheinbare Lage im Sehfeld ab für den Netzhauthorizont, ac für den verticalen Meridian. Es sei der Punkt F im geometrischen Sehfeld abstehend um zwei Längeneinheiten von der Axe AB , um drei von der Axe AC . Tragen wir auf ab drei

Längeneinheiten ab gleich denen von AB , und auf ac die Linie ad , welche zwei Längeneinheiten von AC gleich lang erscheint, und vervollständigen das Parallelogramm $abdf$, so ist f die scheinbare Lage von F , denn

der Construction gemäß müssen alle einzelnen Linienstücke und Winkel der beiden Figuren einander gleich erscheinen.

Die scheinbare Lage der Punkte im mittleren, scharf gesehenen Theile des Sehfeldes, welchen wir als Ebene betrachten können, wird also nach der vorgetragenen Theorie, wie es auch in der That der Fall ist, aus der geometrischen hergeleitet werden, wenn wir die Punkte aus einem rechtwinkligen Coordinatensystem in ein schiefwinkeliges mit verändertem Axenverhältniß übertragen. Indessen läßt sich auch, wie aus bekannten Sätzen der analytischen Geometrie erhellt, in solchen Fällen immer eine bestimmte Axenrichtung eines rechtwinkligen Systems angeben, an dem die Uebertragung dadurch vorgenommen werden kann, daß nur die der einen Axe parallelen Coordinaten in einem bestimmten Verhältnisse verkürzt oder verlängert werden. Die Winkel und Axenverhältnisse, welche diesen Umformungen zu Grunde zu legen sind, sind schon oben angegeben.

Ich muß hier noch bemerken, daß die beschriebenen thatsächlichen Verhältnisse nicht passen zu zwei anderen Theorien, die über die Ausmessung des Sehfeldes aufgestellt worden sind. Eine Anzahl von Physiologen hat sich der Annahme von J. MÜLLER angeschlossen, daß die Netzhaut die Fähigkeit hätte, ihre eigenen räumlichen Dimensionen wahrzunehmen. Dann würden die tangential gerichteten Strecken nahe der Peripherie des Sehfeldes nicht zu groß, wie sie es thun, sondern vielmehr zu klein erscheinen müssen, da, wie der Querschnitt des Auges *Fig. 1* (S. 5) lehrt, die Netzhaut gegen ihren vorderen Rand an der *Ora serrata gg* hin beträchtlich enger wird, als eine um den Knotenpunkt beschriebene Halbkugel. Wie es sich unter dieser Annahme mit den radialen Dimensionen verhalten müßte, läßt sich nicht gut entscheiden, da die Brechung der Strahlen, welche sie bei so schiefem Einfall in Richtung zur Axe hin erleiden, und die Lage des Netzhautbildes nicht genau bestimmt werden können.

Eine zweite Annahme, die zur Erklärung der Ausmessung des Sehfeldes 561 gebraucht worden ist, ist von mehreren Physiologen aus E. H. WEBER'S Versuchen über die Empfindungskreise der Haut und der Netzhaut hergeleitet worden, freilich wohl kaum, wie mir scheint, im Sinne dieses Autors¹. Danach sollen die kleinsten räumlich unterscheidbaren Ausdehnungen als Einheiten des Flächenmaasses benutzt werden. Räumliche Trennung zweier Eindrücke kann, wie schon auf Seite 256 erörtert wurde, nur wahrgenommen werden, wenn zwischen zwei erregten Flächenelementen ein nicht erregtes oder anders erregtes übrigbleibt und wahrgenommen werden kann. Die Größe der kleinsten unterscheidbaren Flächenelemente ist nun an verschiedenen Theilen der Netzhaut sowohl, wie außer WEBER auch AUBERT und FÖRSTER erwiesen haben, als auch an verschiedenen Stellen der Haut sehr verschieden, so daß die Entfernung der erregten Punkte an verschiedenen Theilen sehr verschieden groß gewählt werden muß, wenn man sie

¹ E. H. WEBER über den Raumsinn und die Empfindungskreise in der Haut und im Auge. *Berichte der Sächs. Ges.* 1852, S. 85—164.

als zwei unterscheiden soll. Setzt man also zwei Zirkelspitzen auf eine Stelle der Haut, wo ihre Distanz kleiner als die kleinsten unterscheidbaren Entfernungen ist, so verschmelzen ihre Eindrücke in einen, man glaubt nur mit einer Spitze berührt zu sein. Setzt man sie auf eine Stelle auf, wo ihre gesonderte Unterscheidung nur undeutlich erfolgt, so ist man allerdings geneigt, sie für näher zu halten, als sie wirklich sind; setzt man sie endlich an feiner unterscheidenden Theilen auf, wo ihre Trennung leicht erkannt wird, so erkennt man, wie ich wenigstens finde, richtig ihre wahre Distanz. So erscheinen mir also zum Beispiel Zirkelspitzen von vier Linien Distanz an der Zungenspitze, an der Fingerspitze, an den Lippen in gleicher Entfernung von einander, obgleich an der Zunge ein Abstand von $\frac{1}{2}$ Linie unterschieden wird, an der Fingerspitze dagegen nur einer von 1, an den Lippen von 2 Linien. Dagegen am Kinn und unterhalb des Kinnes, wo die Unterscheidung der Spitzen bei der genannten Distanz schwierig und unsicher wird, erscheinen sie mir, wenn ich sie unterscheide, wohl etwas näher zusammengedrückt zu sein, als sie wirklich sind, nach dem allgemeinen Gesetze des Empfindens, wonach deutlich wahrnehmbare Unterschiede größer erscheinen als undeutlich wahrnehmbare. Aber doch scheinen sie mir am Halse, so lange ich sie überhaupt noch unterscheiden kann, niemals so nahe zu sein, als wenn ich die Spitzen eine halbe Linie oder eine Linie von einander entfernt, an die Zungenspitze ansetze. Die kleinsten unterscheidbaren Größen erscheinen also keineswegs an allen Stellen der Haut gleich groß, sondern sie erscheinen sehr verschieden groß.

Ebenso verhält es sich auf der Netzhaut. Wenn ich zwei kleine schwarze Kreise von 2 Millimeter Durchmesser und ebensoviel gegenseitigem Abstand im indirecten Sehen betrachte, und eine Stelle suche, wo sie zuerst mir anfangen sichtbar zu werden, so erscheinen sie mir dort keineswegs näher aneinanderzustehen, als sie wirklich sind, und jedenfalls nicht im entferntesten so nahe, als zwei mit dem Centrum der Netzhaut fixirte Punkte, die an der Grenze der Unterscheidbarkeit sind.

562 Ich glaube deshalb, daß es eine unzulässige Erweiterung der WEBER'schen Theorie von den Empfindungskreisen ist, wenn man diesen Kreisen überall dieselbe scheinbare Größe zuschreiben und sie als elementare Maaßeinheiten der Raumabmessungen benutzen will. Für das Auge würde aus einer solchen Annahme in der That auch folgen, daß die ganze Peripherie des Sehfeldes in allen Dimensionen relativ viel kleiner erscheinen müßte, als Objecte gleicher Winkelgröße in der Mitte des Sehfeldes. Wir haben im Gegentheil gesehen, daß die tangentialen Richtungen vergrößert erscheinen; die radialen allerdings, wenigstens am oberen und unteren Rande des Sehfeldes verkleinert.

Damit steht es keineswegs in Widerspruch, daß bei der Ausmessung sehr kleiner Abstände, für deren Beurtheilung das mittels der Augenbewegungen ausgebildete Augenmaas nicht genau genug ist, die Empfindungskreise, wie schon oben bemerkt wurde, benutzt werden. Wir kommen auf

diese Fragen übrigens bei den Phänomenen des blinden Flecks weiter unten noch einmal zurück.

Außer den hier beschriebenen allgemeinen Täuschungen über die Größverhältnisse des Sehfeldes, welche vom Gesetz der Augenbewegungen und von der Art, wie wir unser Sehfeld kennen lernen, abhängig sind, giebt es noch eine Reihe von Täuschungen, welche von besonderen Eigenthümlichkeiten der betrachteten Figuren abhängen, aber auch interessant sind, weil sie mehr oder weniger deutlich die Motive kennen lehren, denen wir bei der Schätzung der GröÙe und Formen im Sehfelde folgen.

Man kann die hier in Betracht kommenden Phänomene meist auf die schon bei den Contrasterscheinungen aufgestellte Regel zurückführen, daß deutlich zu erkennende Unterschiede bei allen Sinneswahrnehmungen größer erscheinen, als undeutlich zu erkennende Unterschiede von gleicher objectiver GröÙe. Eine erste Folge davon ist, daß wir eine getheilte RaumgröÙe leicht für größer halten, als eine ungetheilte, weil die directe Wahrnehmung der Theile uns deutlicher erkennen läßt, daß die betreffende GröÙe so viel und so große Theile enthalte, als wenn die Theile nicht erkennbar abgezeichnet sind. So wird man in der nebenstehenden Linie *Fig. 215* leicht das Stück *ab* gleich *bc* halten, obgleich in der That *ab* größer ist als *bc*. Eine Reihe von Messungen über diese Art der Täuschung ist von A. KUNDT¹ ausgeführt worden.

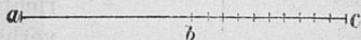


Fig. 215.

Er blickte nach 5 stählernen Spitzen *A, B, C, D, E*, die hinter einem Schirme so hervorragten, daß die Entfernung $AB = 20,2$ Mm., $BC = 40,2$ Mm., $AE = 241,9$ Mm. war. Die Spitze *D* wurde nach dem Augenmaasse in die Mitte eingestellt. Wäre sie wirklich in der Mitte gewesen, so hätte die Entfernung *CD* betragen müssen 60,55 Mm. Sie wurde aber im Mittel aus 120 Versuchen eines Beobachters gemacht gleich 57,87 Mm., so daß die scheinbare Mitte um 2,68 Mm. nach der Seite der Spitzen *A, B* und *C* von der Mitte hin entfernt lag. Bei einem anderen Beobachter ergab sich im Mittel aus 120 Versuchen die Abweichung gleich 3,95 Mm. Die Entfernung der Spitze *D* vom Knotenpunkte des Auges betrug in allen Fällen 338 Mm. 563

Zu bemerken ist, wie bei diesen Versuchen sich herausstellte, daß das rechte Auge die rechte Hälfte einer zu halbirenden Distanz größer zu machen strebt, das linke Auge die linke Hälfte. Der erste Beobachter machte die dem gebrauchten Auge entsprechende Hälfte um 2,24 Mm., der zweite um 4,77 Mm. größer als die andere.

Bei den beschriebenen Versuchen werden Distanzen verglichen, welche mit denselben Netzhauptpunkten zur Deckung gebracht werden können. Viel auffallender werden die Täuschungen, wenn die zu vergleichenden Distanzen verschiedene Richtung haben.

¹ A. KUNDT, *Poggendorff's Annalen* CXX. S. 118.

Man betrachte *Fig. 216 A* und *B*; die beiden linirten Flächen sind richtig gezeichnete Quadrate. Beide sollten höher als breit erscheinen der oben besprochenen Täuschung gemäfs. Das ist bei *A* auch in übertriebenem Maafse der Fall; *B* sieht umgekehrt zu breit aus.



Fig. 216.

Dasselbe gilt für Winkel; man betrachte *Fig. 217*. Die Winkel *1*, *2*, *3*, *4* sind rechte Winkel, und sollten, mit beiden Augen gleichzeitig betrachtet, so erscheinen. Aber *1* und *2* erscheinen spitz, *3* und *4* stumpf; noch stärker wird die Täuschung, wenn man die Figur nur mit dem rechten Auge betrachtet; mit dem linken gesehen, sollten dagegen *1* und *2* stumpf erscheinen, wegen der oben erwähnten Abweichung des verticalen Meridians; sie erscheinen aber nur etwa als rechte, in ihrer wahren Form. Dreht man die Figur, das *2* und *3* nach unten sehen, so erscheint im Gegentheil *1* und *2* dem linken Auge übertrieben spitz, dem rechten richtig. Es erscheinen die getheilten Winkel also verhältnißmäfsig immer gröfser, als sie ohne die Theilung erscheinen würden.

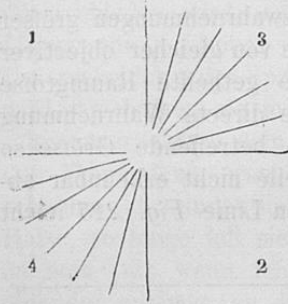


Fig. 217.

Die *Fig. 218* zeigt zwei gleichseitige Dreiecke; *A*, was horizontal getheilt ist, erscheint viel zu hoch, wie es auch ohne die Linirung der Fall sein würde. In *B* dagegen erscheint der Winkel rechts an der Grundlinie gröfser als der links und die Spitze des Dreiecks nach rechts herübergerückt. Derselbe Einfluss zeigt sich bei vielen aus dem gewöhnlichen Leben bekannten Beispielen. Ein leeres Zimmer sieht kleiner aus als

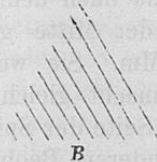


Fig. 218.

ein möblirtes, eine mit einem Tapetenmuster bedeckte Wand gröfser als eine einfarbig angestrichene. Damenkleider mit Querstrichen lassen die Figur höher erscheinen. Ein bekannter gesellschaftlicher Scherz ist es, das man Jemandem einen cylindrischen Herrnhut zeigt und ihn auffordert, an der Wand vom Fußboden ab anzuzeigen, wie hoch der Hut sei. Er macht ihn in der Regel anderthalb Mal zu hoch.

Hierher möchte auch eine von BRAVAIS¹ beobachtete Thatsache gehören. Er berichtet: Wenn ein Beobachter, der sich auf dem Meere in einer gewissen Entfernung von einer Küste befindet, welche große Unregelmäßigkeiten des Terrains darbietet, dieselbe so zeichnet, wie sie dem Auge erscheint, so findet er durch vergleichende mathematische Ermittlung, das

¹ FECHNER, *Centralblatt*, 374—379; 558—561.

in der so erhaltenen Zeichnung die horizontalen Lineargrößen nach den gehörigen Verhältnissen unter einander, die verticalen Winkeldistanzen aber nach einem doppelten Maassstabe geschätzt sind. Diese Täuschung, der man unwillkürlich bei dieser Art Schätzungen unterliegt, ist nicht individuell, wie man glauben könnte, vielmehr beweisen zahlreiche Beobachtungen ihre Allgemeinheit. An diese Fälle schliessen sich verschiedene in neuerer Zeit bekannt gemachte optische Täuschungen an.

Man betrachte *Fig. 219 A*. Nicht *d* erscheint als Fortsetzung der Linie *a*, was es in der That ist, sondern vielmehr *f*, welches etwas niedriger liegt. Noch auffallender ist diese Täuschung, wenn die Figur in kleinerem Maassstabe ausgeführt ist, wie in *B*, wo die beiden Stücke der dünnen Linien wirklich Verlängerungen von einander sind, aber nicht so scheinen, und in *C*, wo sie so scheinen, aber es nicht sind. Zeichnet man solche Figuren wie *A*, ohne das Stück *d*, und betrachtet sie aus immer grösserer Entfernung (indem nöthigenfalls die Accommodation des Auges durch Brillengläser verbessert wird), so dafs sie in immer kleinerer scheinbarer Gröfse erscheinen, so findet man, dafs man *f* immer weiter herunterrücken mufs, damit es als Verlängerung von *a* erscheine, je ferner und scheinbar kleiner die Figur ist.

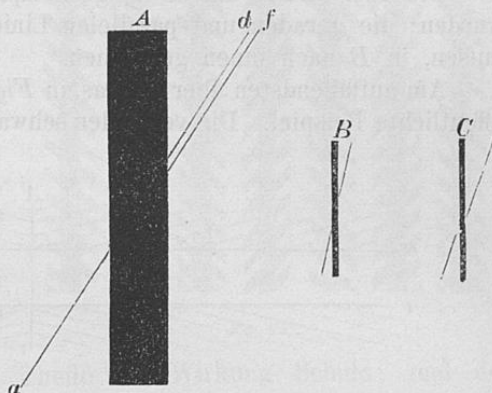


Fig. 219.

Macht man die dünnen Linien sehr lang, wie in *Fig. 220 A*, so wird man bemerken, dafs sie in der Nähe der breiteren schwarzen Linie so eingebogen erscheinen, wie ich etwas übertrieben in *B* gezeichnet habe, dafs die entfernteren Enden der dünnen Linie allerdings ganz richtig als Verlängerungen von einander erscheinen, und dafs nur durch jene Einbiegungen in der Nähe der sie schneidenden starken Linie der Schein entsteht, als träfen sie nicht auf einander.

Es sind dies nun gerade die Erscheinungen, welche in diesem Falle die Irradiation hervorbringen mufs, und es ist schwer zu scheiden, was ihr angehört und was etwa noch daran durch solche Umstände, wie sie theils schon erwähnt sind, theils bei den folgenden Täuschungen noch erwähnt werden sollen, bewirkt wird. Dafs auch

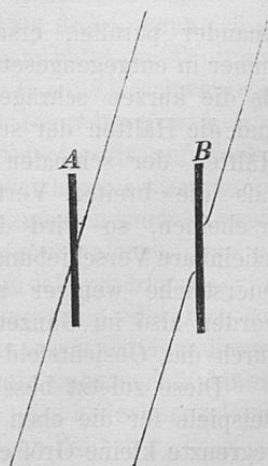


Fig. 220.

Irradiation von schwarzen Linien auf weißem Grunde vorkommt, ist schon oben S. 398—400 erörtert worden. Nahe dem Scheitel der beiden spitzen Winkel treffen die Zerstreuungskreise der beiden schwarzen Linien zusammen und verstärken sich gegenseitig; dadurch rückt das Maximum des Dunkels in dem Netzhautbilde der schmalen Linie dem breiten Streifen näher und sie erscheint gegen diesen hingelenkt. Bei den in größerem Maasstabe gezeichneten Figuren derselben Art, wie *Fig. 219 A*, kann indessen kaum Irradiation der einzige Grund sein.

Die *Fig. 221 A* und *B* zeigt Beispiele, welche von HERING angegeben wurden; die geraden und parallelen Linien *a b* und *c d* erscheinen in *A* nach außen, in *B* nach innen gebrochen.

Am auffallendsten aber ist das in *Fig. 222* gegebene, von ZOELLNER veröffentlichte Beispiel. Die verticalen schwarzen Streifen der letzteren Figur sind

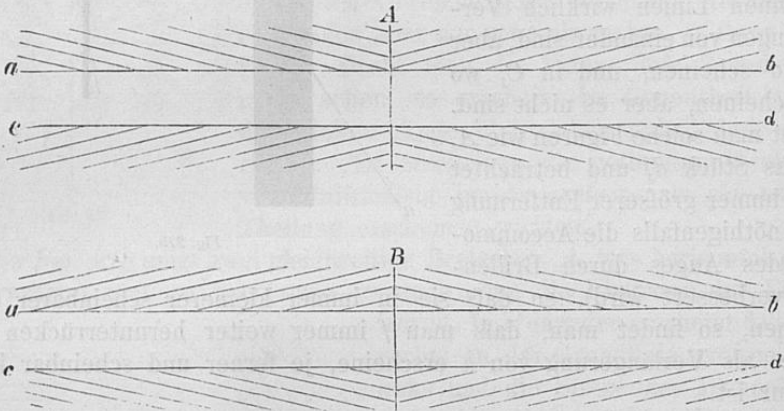


Fig. 221.

einander parallel, erscheinen aber convergent und divergent, so dafs sie immer in entgegengesetzter Richtung von der Verticalen abzuweichen scheinen, als die kurzen schrägen Striche, von denen sie geschnitten werden. Dabei sind die Hälften der schrägen Striche so gegen einander verschoben, wie die Hälften der schmalen Linien in *Fig. 219*. Dreht man die Zeichnung so, dafs die breiten Verticalstriche unter 45° gegen den Horizont geneigt erscheinen, so wird die scheinbare Convergenz auffallender, dagegen die scheinbare Verschiebung der Hälften der dann horizontal und vertical liegenden Querstriche weniger auffallend. Die verticalen und horizontalen Linien werden also im Ganzen weniger in ihrer Richtung verändert, als die schräg durch das Gesichtsfeld laufenden.

566 Diese zuletzt beschriebenen Täuschungen kann man betrachten als neue Beispiele für die oben gegebene Regel, dafs spitze Winkel, als deutlich abgegrenzte kleine Gröfsen, in der Regel verhältnißmäfsig zu grofs erscheinen, wenn wir sie mit stumpfen oder rechten ungetheilten Winkeln ver-

gleichen. Wenn nun die scheinbare Vergrößerung eines spitzen Winkels so geschieht, daß seine beiden Schenkel scheinbar nach außen rücken, so müssen die Täuschungen in den *Fig. 219*, *221* und *222* eintreten. In *Fig. 219* würden sich die dünnen Linien dabei scheinbar um den Punkt drehen, wo sie in den dicken Streifen eintreten und dann nicht mehr in gegenseitiger Verlängerung liegen. In *Fig. 221* werden die beiden Hälften jeder der beiden geraden Linien immer scheinbar so gestellt, daß sich die spitzen Winkel, die sie mit den schrägen Linien machen, vergrößern. Dasselbe geschieht scheinbar mit den Verticalstreifen der *Fig. 222*.

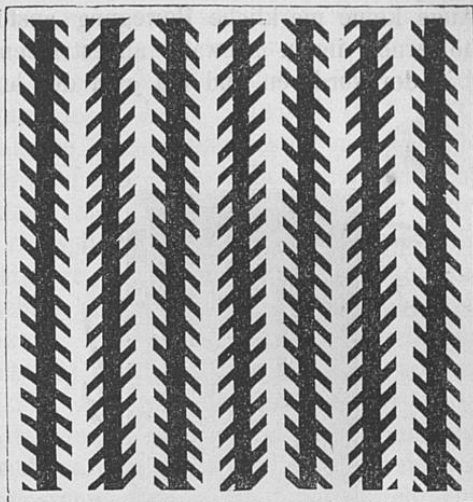


Fig. 222.

Indessen ist in den Fällen von *Fig. 221* und *222* die angegebene Ursache unter gewöhnlichen Verhältnissen nur an einem kleinen Theile der Wirkung Schuld; und der größere Theil der Wirkung hängt, wie ich gefunden habe, von Bewegungen der Augen ab. Die genannten Täuschungen schwinden nämlich ganz, oder bleiben nur in schwachen Resten bestehen, wenn ich einen Punkt der Zeichnungen so fixire, wie es nöthig sein würde, um ein Nachbild zu entwickeln, und wenn es gelingt, ein scharf gezeichnetes Nachbild zu erhalten, was namentlich für das *ZOELLNERSCHE* Muster *Fig. 222* möglich ist, so ist in dem Nachbilde keine Spur der Täuschung mehr zu erkennen.

In *Fig. 219* hat Bewegung des Blicks keinen deutlichen Einfluß auf Verstärkung der Täuschung, im Gegentheile verschwindet diese, wenn ich der dünnen Linie *a d* mit dem Blicke folge. Dagegen verschwindet die Täuschung umgekehrt durch Fixation verhältnismäßig leicht bei *Fig. 221*, schwerer bei *Fig. 222*. Doch kann ich sie auch bei dieser letztern Figur beseitigen, wenn ich fest fixire und nicht die schwarzen Streifen als Objecte, die auf weißem Grunde liegen, betrachte, sondern die weißen Streifen gleichsam als Zweige mit Fliederblättchen, die auf schwarzem Grunde liegen, aufzufassen suche. Sobald mir dies gelingt, sehe ich alles richtig. So wie ich dann aber anfangs, den Blick über die Zeichnungen hin zu bewegen, ist die Täuschung in voller Stärke wieder da.

Auch gelingt es bei diesen Figuren die Täuschung ganz oder fast ganz zu vermeiden, wenn man sie zuerst mit einem undurchsichtigen Papiere bedeckt, über dieses eine Nadelspitze als Fixationspunkt unbeweglich hält, und während man diese ganz scharf und sicher fixirt, das bedeckende Papier zwischen ihr und der Zeichnung fortzieht. Ob man gut fixirt hat, kann man nach der Schärfe des dabei ausgebildeten Nachbildes beurtheilen.

Die sicherste und leichteste Methode, den Einfluss der Augenbewegungen zu beseitigen, ist die Beleuchtung mittels des elektrischen Funkens, weil während der außerordentlich kurzen Dauer eines solchen Funkens das Auge keine merkliche Bewegung ausführen kann. Dazu benutze ich einen hölzernen innen schwarz angestrichenen Kasten *A B C D*, *Fig. 223*. Bei *f* in der vorderen und bei *g* in der hinteren Wand waren in der Entfernung

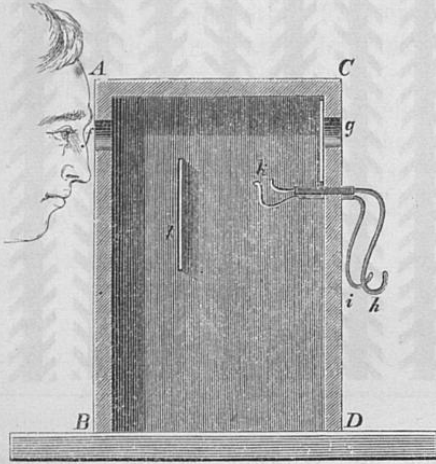


Fig. 223.

der Augen von einander je zwei Löcher¹ eingebohrt worden. Durch die Löcher *f* blickte der Beobachter hinein, vor die Löcher *g* wurden innen die Zeichnungen befestigt, welche selbst mit einem Nadelstich durchbohrt waren, der auch ohne die elektrische Entladung in dem übrigens ganz dunklen Kasten gesehen und fixirt werden konnte. An seiner untern Seite, die auf der Tischplatte *B D* ruht, ist der Kasten offen; wenn man die Zeichnung wechseln will, kehrt man ihn um und greift hinein. Das Zimmer wurde mäfsig dunkel gemacht, so daß der Beobachter die elektrischen Apparate noch sehen und handhaben konnte, daß aber doch im Innern des Kastens nichts aufer jenen Nadelstichen sichtbar war. Die Drähte, welche zur Zuleitung der Elektrizität dienen, sind *hi*, bei *k* ist die Unterbrechungsstelle; *l* ist ein Kartenstreifen, der auf der dem Funken zugekehrten Seite weiß ist und das Licht desselben vom Auge des Beobachters abhält, es dagegen nach der Zeichnung hinwirft. Die Funken wurden durch die secundäre Spirale eines großen Inductionsapparates von RÜHMKORFF, die mit den Belegen einer Leydener Flasche verbunden war, gegeben. Den Schluß der primären Spirale und deren Unterbrechung brachte der Beobachter mit der Hand hervor.²

Es fand sich, daß bei elektrischer Beleuchtung die Täuschung bei der *Fig. 219* unverändert blieb, dagegen bei den Zeichnungen der *Fig. 221* ganz schwand, bei *222* nicht immer ganz fehlte, aber, falls sie eintrat, viel schwächer und zweifelhafter war, als sonst, während doch andererseits die Beleuchtung durch den elektrischen Funken vollkommen genügend war, um die Formen der gerade gesehenen Gegenstände deutlich zu erkennen.

Es sind also zwei verschiedene Erscheinungen zu erklären, nämlich erstens der geringere Grad der Täuschung, der bei Vermeidung der Augen-

¹ Je zwei Löcher, weil der Apparat namentlich auch für stereoskopische Versuche gebraucht werden sollte.

² Beim Mangel hinreichend starker elektrischer Apparate kann das von VOLKMANN construirte Tachistoskop dienen (*Leipz. Sitzungsab.* 1850, p. 90–98), auf welchem ein fallender Schieber für einen Moment die eine oder zwei Oeffnungen öffnet, durch die der Beobachter blickt.

bewegungen eintreten kann, und zweitens die Verstärkung der Täuschung ⁵⁶⁸ durch Bewegung des Auges. In ersterer Beziehung genügt, wie ich glaube, das Gesetz des Contrastes, wonach ein deutlich wahrnehmbarer Unterschied größer erscheint, als ein weniger deutlich wahrnehmbarer. Am deutlichsten wahrnehmbar ist im indirecten Sehen die Uebereinstimmung der Richtung gleichartiger Raumgrößen. Die Abweichung des Schenkels eines spitzen oder stumpfen Winkels von der Richtung des anderen Schenkels im Schnittpunkt wird deutlicher wahrgenommen, als die Abweichung desselben Schenkels von dem nicht gezeichneten Loth, welches auf dem anderen Schenkel senkrecht steht. Somit erscheint der Unterschied eines Winkels von 0° oder 180° relativ zu groß gegen den von 90° ; ein spitzer Winkel also zu groß, ein stumpfer zu klein. Indem diese scheinbare Vergrößerung der Winkel auf beide Schenkel vertheilt wird, entstehen die scheinbaren Verschiebungen und Richtungsänderungen der Schenkel. Scheinbare Verschiebungen der Linien, wobei sie ihrer wirklichen Richtung parallel bleiben, werden schwer corrigirt, daher die Täuschung der *Fig. 219* verhältnißmäßig am hartnäckigsten ist. Richtungsänderungen dagegen können durch eine genauere Betrachtung der Figur leichter erkannt werden, wenn dadurch scheinbare Nichtübereinstimmung zwischen übereinstimmenden Linien hervorgebracht worden ist, und nur dadurch, daß in *Fig. 221* und *222* die übereinstimmenden Linien, welche verändert erscheinen, durch die große Zahl kreuzender schräger Linien einander im Anblick unähnlich gemacht werden, ist es wohl überhaupt möglich, daß ihre Uebereinstimmung übersehen werden kann.

Jetzt haben wir noch den Einfluß der Bewegung auf die scheinbare Richtung gesehener Linien zu untersuchen. Einfache Versuche zeigen, daß selbst bei einfachen geraden Linien ein solcher Einfluß besteht, wenn die Richtung der Bewegung unter einem spitzen Winkel gegen die Richtung der Linie geneigt ist. Da wir eine überwiegende Neigung haben, bei den Bewegungen unseres Auges der Richtung der hervorstechenderen Linien des Gesichtsfeldes zu folgen, so ist es bei diesen Versuchen nöthig, den Blickpunkt im Blickfelde so, wie man es beabsichtigt, zu führen mittels einer Spitze, die man fortdauernd fixirt und über die betreffende Zeichnung hingleiten läßt.

Man ziehe auf einem Papier eine lange gerade Linie *A* und bewege die Spitze, welche man fixirt, in Richtung einer zweiten geraden Linie *B*, welche die erste unter einem sehr kleinen Winkel schneidet. Die zweite gerade Linie braucht nicht gezeichnet zu sein; doch schadet es auch nicht, wenn sie wirklich sichtbar gezogen wird. Wenn man der bewegten Spitze mit dem Blicke folgt, so scheint dabei die gerade Linie *A* auf dem Papier eine Bewegung gegen die Nadelspitze hin oder von ihr weg zu machen, je nachdem sich die Nadel ihr nähert oder von ihr entfernt. Das Bild der Linie *A* verschiebt sich dabei auf der Netzhaut theils parallel sich selbst, theils in Richtung der Breite. Die erstere Bewegung wird wenig oder gar nicht bemerkt, wenn die Linie lang ist und keine deutlich gezeichneten

Merkpunkte besitzt; die zweite Bewegung senkrecht zu ihrer Länge wird dagegen desto deutlicher bemerkt.

Dabei scheint auch die Richtung der Linie A verändert, und zwar so, 569 dafs der Winkel, den sie mit der Linie B macht, in der sich die Spitze bewegt, vergrößert erscheint. Das letztere erkennt man am besten, wenn man eine gerade Linie ab , *Fig. 224*, zieht, und eine Spitze eines Zirkels

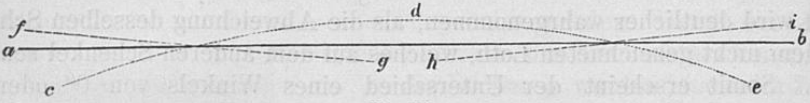


Fig. 224.

so auf das Papier aufsetzt, dafs die andere sich in dem Bogen cde hin- und herbewegen kann. Wenn man dann dieser beweglichen Spitze mit dem Auge folgt, so scheint die Linie ab sich abwärts zu bewegen, so lange man die Zirkelspitze von c nach d gehen läßt, aufwärts, wenn sie von d nach e geht. Gleichzeitig erhält die ganze Linie ab scheinbar eine Richtung wie fg , so lange sich der Blick des Beobachters der Spitze folgend längs cd bewegt, und eine Richtung wie hi , wenn er sich zwischen d und e bewegt. Während man bei der Bewegung von c nach e durch den höchsten Theil des Bogens bei d hindurchgeht, verändert die Linie ab deutlich ihre Richtung.

Wenn man nun über das ZOELLNER'sche Muster horizontal von rechts nach links eine Nadelspitze führt und ihr mit dem Blicke folgt, so kommt die Figur in die seltsamste Unruhe; der erste, dritte, fünfte schwarze Streifen steigen aufwärts, der zweite, vierte, sechste abwärts; oder umgekehrt, wenn die Richtung der Bewegung umgekehrt wird. Dabei erscheinen die aufwärtssteigenden den abwärtssteigenden nicht parallel, sondern theils gegen einander, theils auch gegen die Ebene der Zeichnung in entgegengesetzter Weise geneigt, und zwar neigen sich die aufwärtssteigenden mit ihrem oberen Ende der Richtung, in der die Nadelspitze bewegt wird, entgegen, die abwärtssteigenden mit demselben Ende dagegen im Sinne der genannten Richtung, so dafs also in besonders auffallender Weise während dieser Scheinbewegung die eigenthümliche Täuschung durch die beschriebene Figur zum Vorschein kommt.

Um die Scheinbewegung recht deutlich zu sehen, mufs man eine mittlere Geschwindigkeit mit der Nadelspitze einhalten, die weder zu grofs noch zu klein sein darf, und mufs den Blick ganz fest an die Nadelspitze heften. Wenn es nicht gleich gelingt, kann man auch die Nadelspitze fest stellen und fest betrachten und hinter ihr die Zeichnung vorbeiziehen. Die Ursache der Scheinbewegung ist offenbar dieselbe, wie bei dem oben beschriebenen Versuche mit der einzelnen geraden Linie. Wir nähern uns in geneigter Richtung den schrägen Querstrichen und diese scheinen sich deshalb zu bewegen; sie nehmen dabei die verticalen schwarzen Streifen, mit denen sie verschmolzen sind, gleichsam mit. Wenn nun der schwarze verticale Streifen,

dem wir uns nähern, dabei eine verticale Bewegung zeigt nach aufwärts, so ist dies eine ähnliche Erscheinung, als wir haben würden, wenn wir uns ihm nicht in senkrechter Richtung näherten, sondern unter einem spitzen Winkel, dessen Spitze nach abwärts sieht, und umgekehrt bei den abwärtssteigenden Streifen ist die Scheinbewegung dieselbe, als wenn wir uns ihnen näherten unter einem spitzen Winkel, dessen Spitze nach aufwärts sieht. Da nun aber die Richtung der wirklichen Bewegung unseres Blicks für alle Streifen dieselbe ist, so erscheinen uns umgekehrt die Streifen gegen die Bewegungslinie des Blicks geneigt, die aufsteigenden mit dem oberen Ende der Richtung dieser Bewegung entgegen, die absteigenden ihr folgend, wie in *Fig. 225* angezeichnet ist, wo *a b* die Richtung bezeichnen soll, in der sich der Blick bewegt, *c c*, *d d*, *e e*, *f f* die scheinbare Lage der verticalen Streifen in übertriebener Divergenz, und die Pfeile neben diesen letzteren Linien die Richtung, in der sich so gestellte Linien scheinbar bewegen würden, wenn der Blick in Richtung der horizontalen Pfeile fortgleitet.

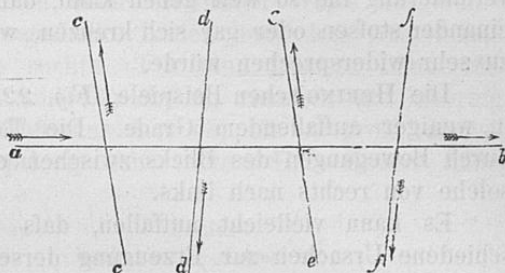


Fig. 225.

Macht man die Bewegung der Spitze, der das Auge folgt, allmählich langsamer, so wird auch die Scheinbewegung langsamer, wird leichter übersehen, kann aber bei einiger Aufmerksamkeit erkannt werden, und gleichzeitig finde ich, daß die scheinbare Divergenz der verticalen Streifen sich weniger bestimmt zeigt. Ohne Hilfe einer leitenden Spitze kommt weder die Scheinbewegung der Streifen noch ihre scheinbare Divergenz so schön zum Vorschein, wie mit einer solchen, wahrscheinlich weil wir unseren Blick über eine Zeichnung mit so hervortretenden Liniensystemen nicht so gleichmäßig und so geradlinig hingleiten lassen können. Da übrigens die Täuschung über die Richtung der Streifen mit der über ihre Bewegung gleichzeitig wächst und fällt, so zweifle ich nicht, daß auch die Verstärkung der Täuschung bei den gewöhnlichen Bewegungen des Blicks dieselbe Ursache habe.

Führt man die fixirte Nadelspitze parallel den verticalen Streifen über die Zeichnung, so wird die Täuschung nicht nur nicht verstärkt, sondern sogar geschwächt oder ganz beseitigt. Die verticalen Streifen zeigen sich dann als parallele Richtlinien im Blickfelde dadurch, daß ihre Netzhautbilder sich in sich selbst verschieben.

Der hier beschriebene Einfluß der Scheinbewegung der verticalen Streifen auf die scheinbare Größe des Winkels zwischen ihnen und der Bewegungsrichtung des Blicks läßt sich übrigens ganz ebenso an einem wirklich bewegten Körper zeigen. Man lege einen mit Theilstrichen versehenen Maafsstab in horizontaler Richtung auf ein Blatt Papier, setze dicht

neben ihm die eine Spitze eines weit geöffneten Zirkels ein und bewege die andre nahe über der Kante des Maafsstabes hin und her; sie wird sich dabei genau normal zur Richtung des Maafsstabes bewegen. Jetzt bewege man auch den Maafsstab in seiner eigenen Richtung hin und her, so wird die Bewegungslinie der Zirkelspitze durchaus nicht mehr senkrecht zur Richtung des Maafsstabes, sondern sehr stark geneigt gegen diese erscheinen, wie sie sich denn in der That in einem am Maafsstabe festen Coordinatensystem wirklich als geneigt darstellen würde, während sie, auf ein absolut festes Coordinatensystem bezogen, senkrecht zur Kante des Maafsstabes bleibt. Die Veränderung des Winkels ist übrigens in diesem Falle viel bedeutender als an der ZOELLNER'schen Figur, weil bei dieser die scheinbare Lagenveränderung nie so weit gehen kann, daß die verschobenen Streifen gegen einander stoßen oder gar sich kreuzen, was dem Bilde des indirecten Sehens zu sehr widersprechen würde.

Die HERING'schen Beispiele, *Fig. 221*, bieten dieselben Verhältnisse nur in weniger auffallendem Grade. Die Täuschung wird bei ihnen verstärkt durch Bewegungen des Blicks zwischen oben und unten, geschwächt durch solche von rechts nach links.

Es kann vielleicht auffallen, daß ich zweierlei anscheinend so verschiedene Ursachen zur Erzeugung derselben Täuschungen zusammenwirken lasse. Wenn man sich aber erinnert, daß nach der hier vorgetragenen Ansicht die Kenntniß der Ausmessungen des Sehfeldes im indirecten Sehen auf Erinnerung an frühere bei Bewegungen gemachte Erfahrungen beruht, während bei bewegtem Blick neue ähnliche Eindrücke hinzukommen, so ergibt sich, daß die beiden Ursachen nicht so verschieden sind, wie sie in der Auseinandersetzung zu sein scheinen; sie sind nur unterschieden wie Erinnerung und gegenwärtige Anschauung analoger Verhältnisse.

Es kommt durch diese Verhältnisse eine Art Contrast für die Richtungen von Linien und für die Entfernungen zu Stande von ähnlicher Wirkung, wie wir ihn in § 24 für die Lichtstärken und Farben kennen gelernt haben. Die Unterschiede nahe gleicher Richtungen erscheinen vergrößert; dadurch daß wir eine Linie von einer oder vielen andern geneigten Linien schneiden lassen, wird sie scheinbar nach der entgegengesetzten Seite geneigt, als jene. Die Erscheinungen des Contrastes der Lichtstärken und Farben ließen sich mit Hilfe der Hypothese von Th. YOUNG auf die Vergleichung verschieden starker, aber qualitativ gleicher Erregungen der Fasern zurückführen. Wollte man sich die Localzeichen der Netzhautfasern als Empfindungen von zwei, irgend welchen zwei Coordinatenrichtungen entsprechenden Qualitäten denken, deren Intensität sich continuirlich in der Fläche änderte, so würden die Contraste der Richtungen gerade auf dieselben Eigenthümlichkeiten der Unterscheidung der Empfindungsstärke zurückzuführen sein, wie die der Farben. Da es aber gelang, den Einfluß der Augenbewegungen auf direct sichtbare Erscheinungen zurückzuführen, so können wir eine solche Hypothese vorläufig auf sich beruhen lassen. Uebrigens hat auch ZOELLNER bei seiner

Beschreibung der Täuschung an dem Muster der *Fig. 222* dieselbe auf die Bewegungen des Auges zurückzuführen gesucht. Ganz unzulässig erscheint mir dagegen die von E. HERING gegebene Erklärung. Derselbe meint, daß wir die Entfernung zweier Punkte nach der geradlinigen Entfernung ihrer beiden Netzhautbilder beurtheilen. Demgemäfs werden nach ihm im Allgemeinen kleine Entfernungen relativ gröfser gesehen als grofse ungetheilte, weil bei kleinen Bögen der Unterschied zwischen dem Bogen und der Sehne, welche die Distanz seiner Enden mißt, relativ kleiner ist, als bei grofsen. Eben deshalb sollen kleine Winkel stets relativ zu grofs im Vergleich zu ihren gröfseren Nebenwinkeln gesehen werden. Auf dasselbe Princip hat auch A. KUNDT eine ausführlichere Theorie dieser Erscheinungen zu gründen 572 gesucht und Messungen in der schon oben erwähnten Weise ausgeführt, die sie stützen sollen,¹ indem er ungetheilte Linien nach dem Augenmaafs getheilten Linien gleich zu machen suchte. Für eine gewisse Länge der Linien stimmen auch Beobachtung und Berechnung ziemlich gut überein, aber bei kleineren Linien ist die Differenz fast doppelt so grofs, als sie nach dem aufgestellten Erklärungsprincip sein sollte. Herr KUNDT findet nämlich

Gesichtswinkel für die zu vergleichenden Distanzen	Fehler	
	beobachtet	berechnet
20° 14'	4,40	4,62
19° 41'	3,31	4,47
12° 47'	1,48	0,84

Ich muß hinzufügen, daß die Täuschungen auch bei viel kleineren Figuren bestehen bleiben, bis die Objecte sich der Grenze des deutlichen Sehens nähern, und daß bei so kleinen Objecten ein Unterschied zwischen dem Bogen und der Sehne nicht mehr merklich sein kann. KUNDT selbst hat gefunden, daß zum Beispiel seine *Fig. 4* bis auf 9 Fufs Entfernung die Täuschung zeigte, wobei zwischen den betreffenden Bögen und Winkeln selbst in der 5ten Decimale noch kein Unterschied vorhanden ist.

Ich halte deshalb das von HERING und KUNDT gebrauchte Erklärungsprincip nicht einmal für einen richtigen Ausdruck der Thatsachen. Wollte man es gar als Erklärung der wirklichen Ursache der Erscheinungen auffassen, so müfste man die Annahmen der natavistischen Theorie dahin ausdehnen, daß uns eine Kenntniß unserer Netzhaut, und zwar nicht nur der räumlichen Anordnung der empfindenden Punkte auf ihr, sondern sogar ihrer Krümmung angeboren sei.

Zu erwähnen ist endlich noch, daß in einer Reihe von Fällen die binoculare Körperanschauung störend auf die Vergleichung der Distanzen im Gesichtsfelde einwirkt. Es macht sich hierbei geltend, daß unser natürliches Sehen von Körpern ist, und daß alle unsere Uebung darauf abzweckt, die Dimensionen und Lagen der gesehenen Körper richtig zu beurtheilen.

¹ A. KUNDT, *Poggendorff's Annalen*, 1863, CXX, 118—158.

Ich kann mit großer Sicherheit erkennen, ob mein Zeigefinger dicker oder dünner ist, als eine an dem entgegengesetzten Ende des Zimmers befindliche Gasröhre, obgleich ein kolossaler Unterschied in der scheinbaren Gröfse beider Körper vorhanden ist. Dagegen bin ich sehr unsicher, ob mein Zeigefinger, wenn ich ihn in einer bestimmten Entfernung vom Auge halte, dieselbe scheinbare Gröfse hat, wie ein an der anderen Seite des Zimmers befindliches Buch, oder etwa wie der Mond, vorausgesetzt, dafs ich die zu vergleichenden Objecte nicht im Gesichtsfelde nahe an einander bringe. Ich finde vielmehr, dafs ich eine sehr starke Neigung habe, den Gesichtswinkel, unter dem der Finger erscheint, für viel kleiner als den des Buches oder des Mondes zu halten, bis ich beide ganz nahe zusammenbringe oder sich im Gesichtsfelde decken lasse.

573 Damit scheint es mir auch zusammenzuhängen, dafs wir, wie die Versuche von KUNDT zeigen, wenn wir eine horizontale Linie zu halbiren suchen, für das rechte Auge deren rechte Hälfte, für das linke Auge die linke zu groß zu machen pflegen. Bei einer Linie von 100 Millimeter Länge, aus 226 Millimeter Entfernung gesehen, verlegte das linke Auge die Mitte im Durchschnitt von 40 Beobachtungen auf 50,33 Millimeter vom linken Ende entfernt, das rechte Auge nur 49,845 von demselben entfernt. Diese Abweichungen der scheinbaren von der wahren Mitte, 0,33 und 0,155 Millim. betragend, sind übrigens viel kleiner als die Abweichungen der einzelnen Beobachtungen vom Mittel, deren mittlerer Fehler 0,50 und 0,66 betrug, so dafs eben nur in einer großen Zahl von Versuchen die genannte Abweichung sichtbar wird.

Diese Abweichung kann, wie mir scheint, dadurch veranlafst sein, dafs wir beim binocularen Betrachten einer halbirtren Linie diese symmetrisch zum Kopfe vor die Mitte des Gesichts zu halten pflegen, und wir deshalb gewöhnt sind, die rechte Hälfte mit dem rechten Auge größer zu sehen, die linke mit dem linken.

Zum Schluß der Beschreibung des Sehfeldes ist noch über seine Grenzen und Lücken zu reden. Seine Ausdehnung umfaßt alle Punkte des uns umgebenden Raums, von denen durch die Pupille noch Licht eindringen und noch auf empfindende Theile der Netzhaut fallen kann. Ausgeschlossen vom Sehfelde sind diejenigen Theile des Raums, namentlich also die hinter uns liegenden, von denen niemals Licht auf dem normalen Wege unsere Netzhaut erreichen kann. Die Fläche unseres Sehfeldes entspricht also dem nach aufsen projecirten Bilde unserer Netzhaut und die Grenze des Sehfeldes der Grenze der Netzhaut. Wir sind uns dieser Begrenzung bewufst, wir wissen, dafs wir von den hinter uns liegenden Objecten durch das Gesicht nichts wahrnehmen, und können bei einiger Aufmerksamkeit auf das Feld des indirecten Sehens angeben, welche Gegenstände an dem Rande des Sehfeldes noch erscheinen, welche nicht, so weit die große Undeutlichkeit des Sehens mit den äußersten Theilen der Netzhaut dies eben erlaubt. Dabei ist zu bemerken, dafs in der Empfindung ein wesentlicher Unterschied

ist zwischen dem Theile des (verlängert gedachten) Sehfeldes, der überhaupt niemals gesehen werden kann, und dem sichtbaren Theile desselben, wenn er wegen Lichtmangels zeitweilig nicht gesehen wird. Bei Abschlufs alles äufseren Lichtes haben wir ein bestimmt begrenztes dunkles Feld vor unsern Augen; wir sind uns aber wohl bewußt, dafs wir dabei den hinter uns gelegenen Raum nicht dunkel sehen, sondern dafs wir ihn gar nicht sehen. Die Empfindung des Dunkels ist die Empfindung des Ruhezustandes oder, wenn man will, der Mangel von Empfindung in Theilen unseres Sehnervenapparates, die erregt werden könnten, wenn ein Reiz auf sie wirkte. Ihr entspricht in der Wahrnehmung die Vorstellung vor uns gelegener Theile des Raums, welche unserem Auge kein Licht zusenden, was also eine bestimmte, wenn auch negative Aussage über den objectiven Zustand dieser Theile des Raums enthält. Den nicht sichtbaren Theilen des Raums entspricht aber auch kein empfindendes Organ, welches den Zustand seiner eigenen Ruhe bemerken und unterscheiden könnte. In der Wahrnehmung wird über sie gar nichts ausgesagt, als dafs wir nichts über sie wissen, weder ob sie hell, noch ob sie dunkel seien. Beides ist wohl zu unterscheiden.

Nun giebt es aber auch innerhalb der äufseren Begrenzungslinie unseres Sehfeldes eine Lücke, entsprechend der für Licht unempfindlichen Eintrittsstelle unseres Sehnerven, wo wir nichts sehen. Die Lage und Ausdehnung dieser Stelle ist im Anfange von § 18 bestimmt worden; dort wurde auch erwiesen, dafs sie wirklich unempfindlich für Licht sei. Wir haben jetzt zu untersuchen, wie uns die entsprechende Stelle des Sehfeldes erscheint. 574

Der gewöhnliche Fall ist, dafs wir gar nicht im Stande sind zu bemerken, dafs eine Lücke im Sehfelde sei, oder unsere Aufmerksamkeit auf das, was in der Lücke erscheinen sollte, festzuheften. Dies ist nicht nur der Fall, wenn die Anschauung der Objecte, welche in die Lücke fallen, ergänzt wird durch die Wahrnehmungen des anderen offenen Auges, oder falls dies geschlossen ist, ergänzt wird durch Bewegungen des einen geöffneten Auges, wobei die Lücke ihren Platz im Gesichtsfelde stets wechselt und daher, was von den Objecten in dem einen Augenblicke nicht gesehen wird, im andern erkannt werden kann. Wir bemerken vielmehr auch bei festgeheftetem Blicke die Lücke nicht, wenn der der Lücke benachbarte Theil des Sehfeldes einen gleichmäfsig erhellten und gefärbten Grund darstellt; es erscheint uns vielmehr dann dieser ganze Theil des Feldes ohne Unterbrechung von der Farbe des Grundes ausgefüllt. Was für nicht gesehene Objecte sich dabei in der Lücke des Sehfeldes wirklich befinden, ist natürlich ganz gleichgültig. Diese verschwinden eben, wie schon oben gezeigt worden ist. Es ist dabei zu bemerken, dafs wir überhaupt das indirecte Sehen gewöhnlich nicht benutzen, um uns über die Form, Gröfse und Ordnung der in ihm gesehenen Gegenstände Auskunft zu verschaffen, sondern dafs es hauptsächlich nur dazu dient, eine Art roher Skizze von der Umgebung des fixirten Punktes, auf den unsere Aufmerksamkeit gerichtet ist, zu geben und um unsere Auf-

merksamkeit jeder etwa neu auftretenden oder ungewöhnlichen Erscheinung, die im seitlichen Theile des Sehfeldes zum Vorschein kommt, sogleich zuzulenken. Ein Theil des Sehfeldes nun, der wie der blinde Fleck niemals irgend welche, also auch keine auffallende Erscheinung darbieten kann, wird daher unter gewöhnlichen Umständen niemals Gegenstand der Aufmerksamkeit. Ja ich habe gebildete und unterrichtete Leute, selbst Aerzte, gekannt, denen es nicht gelang, sich von dem Verschwinden kleiner Objecte an dieser Stelle zu überzeugen. Wenn wir dann durch physiologisch optische Versuche uns üben, Gegenstände im indirecten Sehen zu erkennen, so sind es doch zunächst nur grössere durch Helligkeit oder Färbung oder Bewegung von ihrer Umgebung abstechende Gegenstände, auf die wir unsere Aufmerksamkeit, ohne den Fixationspunkt zu ändern, lenken und deren Ordnung wir erkennen können. Aber unsere Aufmerksamkeit einer bestimmten, durch gar keinen sinnlichen Eindruck ausgezeichneten Stelle, wie es die Lücke des Sehfeldes ist, wenn sie auf gleichmässig gefärbten Grund fällt, im indirecten Sehen zuzuwenden, vermögen wir nicht.

Ich muß hierbei jedoch bemerken, daß ich in der letzten Zeit angefangen habe, beim Aufschlagen eines Auges gegen eine ausgedehnte weiße Fläche und bei kleinen Bewegungen des Auges oder bei eintretender
575 Accommodationsspannung den blinden Fleck als einen schattigen Fleck zu sehen, so daß, wenn ich mit der Spitze des Zeigefingers darauf hinweise, mir die Fingerspitze verschwindet. Es ist dies eine subjective Erscheinung, welche mit den auf Seite 239 beschriebenen Erscheinungen zusammenhängt, und bald wieder schwindet, wenn man das Auge unbewegt geöffnet hält. Das ist also nur eine scheinbare, nicht eine wirkliche Ausnahme von dem Gesagten, denn dabei ist das Sehfeld subjectiv nicht einförmig erregt, sondern die Nachbarschaft des blinden Flecks durch besondere Erscheinungen ausgezeichnet, welche die Aufmerksamkeit auf diese Stelle zu fixiren im Stande sind. Dazwischen kommt es doch immer wieder vor, daß ich ein helles Feld ansehe, ohne im Geringsten im Stande zu sein, ohne vorgängigen Versuch zu sagen, wo der blinde Fleck im Sehfelde liegt.

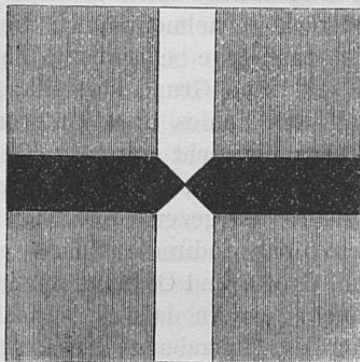


Fig. 226.

Anders verhält es sich, wenigstens für einen im indirecten Sehen etwas geübten Beobachter, wenn man Merzeichen im Sehfelde anbringt, welche die Aufmerksamkeit gerade auf die Lücke hinzuleiten im Stande sind. Dazu kann man zum Beispiel sehr zweckmäfsig ein Kreuz brauchen, dessen verticaler Schenkel durch Farbe oder Helligkeit deutlich von dem

horizontalen, beide ebenso vom Grunde unterschieden sind, und deren Kreuzungsstelle vom blinden Fleck ganz überdeckt werden kann. *Fig. 226* stellt ein solches Kreuz dar. Die Marke *a* bezeichnet den Fixationspunkt. Die Zeichnung ist aus 16 Centimeter Entfernung anzusehen. Um sich zu überzeugen, daß die Kreuzungsstelle ganz verschwindet, bedecke man sie mit einer farbigen Oblate, und wenn diese verschwunden ist, suche man bei gut fixirtem Blick zu ermitteln, ob der schwarze oder der weiße Schenkel des Kreuzes im Fixationspunkte oben auf liegt. VOLKMANN¹ und die meisten andern Beobachter, die diesen Versuch angestellt haben, glaubten bald den einen, bald den anderen Schenkel oben liegen zu sehen, öfter² den horizontalen, vielleicht weil der horizontale Durchmesser der Lücke geringer ist, als der verticale. Macht man aber den horizontalen Schenkel kürzer und kürzer, so überwiegt schliesslich die Farbe des vertikalen Schenkels. Ich habe selbst das früher auch so zu sehen geglaubt, seitdem ich aber durch vieles Beobachten eine grössere Uebung im indirecten Sehen erlangt habe, bin ich mir bei diesem Versuche ganz bestimmt bewußt, daß ich die Kreuzungsstelle nicht wahrnehmen kann. Auch AUBERT, der einer der geübtesten Beobachter im indirecten Sehen ist, stimmt damit überein. Er sagt: „Trotz⁵⁷⁶ vielfacher Uebung im indirecten Sehen und vielfacher Wiederholung der von WEBER, VOLKMANN und neuerdings von WITTICH angegebenen Versuche muß ich schliesslich offen bekennen, daß ich zu keinem Urtheile darüber kommen kann, in welcher Weise das Gesichtsfeld in dieser Stelle ausgefüllt wird. Ob ein Kreuz, welches von einer gelben und blauen Linie gebildet wird, an der Kreuzungsstelle, wenn diese auf den blinden Fleck fällt, in der einen oder anderen Farbe erscheint, weiß ich trotz hundertfacher Wiederholung des Versuches nicht anzugeben, ebenso wenig, ob zwei Parallellinien in der Mitte zusammenrücken oder nicht, oder ob eine Kreislinie, mag sie dick oder dünn sein, sich zum Kreise schließt oder nicht.“³

Schwieriger ist es, die Aufmerksamkeit auf die Lücke zu richten, wenn nur eine geradlinige Contour ohne Unterbrechung durch die Lücke hinläuft. Man schiebe ein schwarzes Blatt Papier, was durch eine verticale gerade Linie begrenzt ist, von der Schläfenseite des Sehfeldes her über ein weißes Blatt hin, auf welchem man einen Punkt mit einem Auge fixirt, bis ein Theil der Grenzlinie in die Lücke des Sehfeldes fällt. Die meisten Beobachter glauben in diesem Falle die gerade Begrenzungslinie ununterbrochen fortlaufend zu sehen; aber auch in diesem Falle habe ich mich neuerdings überzeugt, daß ich erkennen kann, wann und wo ich einen Theil der Linie nicht wahrnehme. Schiebe ich das schwarze Blatt vorwärts gegen den Fixationspunkt hin, so kann ich ganz genau den Augenblick erkennen, wo die beiden sichtbaren Enden der Begrenzungslinie zusammenschließen. Schwieriger ist es, deutlich zu erkennen, wann derselbe Moment beim Zurückziehen des

¹ A. W. VOLKMANN, *Berichte der Kön. Sächs. Ges. d. Wissenschaften*. 30. April 1853. S. 40.

² W. v. WITTICH, *Studien über den blinden Fleck*, *Archiv für Ophthalmologie* 1863. IX. 3, p. 1—31.

³ H. AUBERT, *Physiologie der Netzhaut*. Breslau, 1865. S. 257—258.

schwarzen Blattes an der Schläfenseite des blinden Flecks eintritt, weil hier das indirecte Sehen schon viel unvollkommener ist. Wunderlich ist dabei, aber charakteristisch für das Wesen der Erscheinung, daß ich nirgends eine Lücke zwischen dem weissen und schwarzen Felde sehe, obgleich ich erkenne, daß ich an einer Stelle die Begrenzungslinie nicht sehen kann, daß sich zwischen das Schwarze und Weiße nichts einschiebt, und ich doch nicht angeben kann, wo und wie geformt die Grenze sei. Auch kann ich nicht sagen, daß Weiß und Schwarz dort verwaschen in einander übergangen, denn das Grau dieses Uebergangs wäre wieder etwas bestimmt Wahrnehmbares. Ich kann es nur vergleichen mit dem Eindruck, den man hat, wenn man im halben Dunkel lichtschwache Objecte zu fixiren und zu erkennen sucht und dann durch die Nachbilder einzelne Theile der Zeichnung ausgelöscht werden.

Sehr viel leichter, als bei einer geraden Linie, erkenne ich die Lücke, wenn sie auf einen Theil einer Kreislinie oder auf die Peripherie einer Kreisfläche fällt; dabei kann ich auch ziemlich gut angeben, wieviel von dem Kreise fehlt.

Habe ich im Gesichtsfelde vor mir eine große Zahl verschiedenartiger kleiner Objecte, so bin ich im Stande, die Stelle des blinden Flecks sogleich zu erkennen an einer gewissen Unklarheit und Undeutlichkeit, wodurch sie sich unterscheidet. Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn ich nach einem Gebüsch, einer gemusterten Tapete, einem mit Buchstaben bedruckten Blatte hinsehe.

Dem entsprechend muß ich behaupten, daß überhaupt keinerlei Empfindung dem blinden Flecke entspricht, und daß namentlich auch nicht etwa irgend welche Empfindungen aus der Nachbarschaft sich auf die Lücke des Sehfeldes übertragen, sondern bei genauer Beobachtung und bei Anwendung der nöthigen Hilfe, um die Aufmerksamkeit auf den blinden Fleck hinzuwenden, kann man sich überzeugen, daß dort die Empfindung fehlt. Man sieht in der Lücke des Sehfeldes weder irgend etwas Helles oder Farbiges oder Dunkles, man sieht hier im strengen Sinne des Wortes Nichts, und dieses Nichts kann sich nicht einmal als Lücke und Grenze des Sichtbaren geltend machen; denn wenn die Lücke des sichtbaren Sehfeldes selbst sichtbar sein sollte, so müßte sie in irgend einer Qualität des Sichtbaren erscheinen, was sie nicht thut. Nur negativ können wir ihr Vorhandensein ermitteln dadurch, daß wir beobachten, welches die letzten Objecte sind, die wir noch sehen. Wenn wir dann ermitteln, daß diese im Raume nicht aneinanderstoßen, so kommen wir zur Anerkennung der Lücke und ihrer räumlichen Lage und Größe. Da nun aber hierzu Localisirung der Gesichtseindrücke nöthig ist, und diese nach unserer Auffassung erst durch Erfahrung erworben wird, so beruht dieses Auffinden der Lücke in der That auf einem Urtheil; sie wird nicht unmittelbar empfunden.

Mit der größeren Lücke des Gesichtsfeldes hinter unserem Rücken verhält es sich übrigens ganz ähnlich, nur daß uns ihre Anwesenheit besser

bekannt ist, als die des blinden Flecks, weil wir zu ihrer Ausfüllung zu keiner Zeit sinnliche Hilfsmittel gehabt haben, während die Lücke des blinden Flecks für gewöhnlich durch die Wahrnehmungen des andern Auges und durch die Bewegungen des Blicks genügend ausgefüllt und daher nicht als Mangel fühlbar wird. Auch die Grenze des Sehfeldes können wir nur negativ bestimmen, indem wir im indirecten Sehen aufsuchen, welche Objecte noch sichtbar sind, welche nicht. Wenn wir dagegen einen einförmigen Grund herstellen, zum Beispiel das Auge nach dem innern Augenwinkel drehen und ein durchscheinendes beleuchtetes Blatt Papier vorhalten, wobei dann gegen den äußern Augenwinkel hin nichts von den Theilen unseres Gesichts mehr sichtbar wird, sondern allein die weiße Fläche: dann ist es absolut unmöglich zu sagen, wo diese helle Fläche aufhört und wo das Nichtsehen anfängt. Wäre dagegen dort irgend ein dunkler oder farbiger Fleck auf dem Papier, so würden wir sogleich die Richtung bestimmen können, in dem wir diesen sehen. Auch hier also kann sich das nicht Sichtbare nicht als Grenze des Sichtbaren geltend machen und von ihm abheben.

Anders verhält es sich nun, wenn wir in Folge unserer Empfindungen uns Vorstellungen von den Objecten bilden. Der objective Raum und die darin enthaltenen Objecte können kein Loch haben entsprechend der Lücke unseres Sehfeldes. Wir befinden uns dann im Wesentlichen in der Lage von Jemandem, der ein beflecktes oder durchlöcherteres Gemälde betrachtet und daraus sich eine Anschauung von dem zu bilden sucht, was der Maler hat vorstellen wollen. Wenn hierbei ein Fleck auf irgend einen der untergeordneten Theile des Gemäldes fällt und die Ergänzung selbstverständlich ist, ⁵⁷⁸ so wird der Betrachtende den Fleck vielleicht kaum beachten, oder wenigstens in seiner Vorstellung der Objecte durch ihn gar nicht gehindert werden und in dieser Beziehung den Fleck als nicht vorhanden betrachten können. Sollte der Fleck also auf eine einförmig gefärbte Fläche oder auf eine gleichmäßig gemusterte Fläche fallen, so wird der Beschauer ohne Weiteres sich die Lücke in seiner Vorstellung mit der Farbe des Grundes ausfüllen, er müßte denn ganz besondere Gründe haben zu vermuthen, daß dort die Färbung oder das Muster ursprünglich abweichend gewesen sei. Und ebenso wird er die Ergänzung ohne alles Zögern und Schwanken machen, wenn der Fleck einen kleinen Theil einer geradlinigen Kante oder einer Kreisperipherie verdeckt. Erst wenn der Fleck auf wichtige Punkte des Gemäldes oder solche, deren Bedeutung nicht so ganz selbstverständlich ist, fällt, wird er die Aufmerksamkeit des Beschauers anziehen und ihn in der Vollendung seines Anschauungsbildes von den dargestellten Gegenständen stören.

Dieser Vergleich kann das Verhältniß ungefähr klar machen; namentlich wenn man sich denkt, daß der Fleck bei einem reichen und interessanten Gemälde auf seitlich gelegene und ganz unwichtige Nebensachen des Gemäldes fällt und nicht durch seine Farbe oder Helligkeit im Stande ist, die Aufmerksamkeit des Beobachters anzuziehen. Dann wird er möglicher Weise ebenso unentdeckt bleiben, wie die Lücke im Sehfelde es gewöhnlich

ist. Der Vergleich hinkt nur insofern, als der Fleck auf dem Gemälde etwas Sichtbares ist, auf welches die Aufmerksamkeit vollkommen leicht gefesselt werden kann, wenn sie einmal darauf hingelenkt war, während die Lücke des Gesichtsfeldes nicht die Qualität von etwas Sichtbarem hat und es ganz gegen unsere Gewöhnung und Uebung ist, die Aufmerksamkeit im Felde des indirecten Sehens anders als auf einzelne positiv auffallende Phänomene zu richten. In beiden Fällen bilden wir uns aus den vorhandenen positiven Momenten der Empfindung unsere Vorstellung von den Objecten aus, so gut es eben geht; nur dafs wir bei der Lücke des Sehfeldes sehr viel schwerer auf den Mangel des Anschauungsmaterials aufmerksam werden, als bei dem Fleck des Gemäldes. VOLKMANN sagt daher in dieser Beziehung mit Recht, dafs man die Lücke im Sehfelde durch einen Act der Einbildungskraft ausfüllt; nur mufs man hinzufügen, dafs diesem Acte der Einbildungskraft nicht die volle Evidenz der sinnlichen Anschauung zukommt, wenn auch in diesem Falle allerdings schwerer als in anderen ähnlichen Fällen zu ermitteln ist, dafs ein Mangel des sinnlichen Materials stattfindet. Eines der hübschesten Beispiele, was VOLKMANN für diese Ergänzung durch die Einbildungskraft anführt, ist, dafs wenn man die Lücke auf die bedruckte Seite eines Buches fallen läfst, man sie mit Druckschrift ausgefüllt zu sehen glaubt, welche man freilich nicht lesen kann. Aber allerdings ist diese Ausfüllung nur so lange scheinbar vorhanden, bis man sich durch genauere Aufmerksamkeit überzeugt, dafs man an der betreffenden Stelle gar nichts wahrnimmt. Die Thätigkeit der Einbildungskraft geht also keineswegs so weit, dafs dadurch die fehlende sinnliche Empfindung ersetzt und vorgespiegelt würde.

Es ist nun noch zu untersuchen, wie die räumlichen Abmessungen durch das Augenmaafs für die Punkte nahe der Lücke ausfallen. In dieser Beziehung fallen die Aussagen verschiedener Beobachter sehr verschieden aus. Einige, wie namentlich v. WITTICH, sehen die der Lücke nächstgelegenen Objecte gegen die Lücke hingezogen und diese dadurch ausgefüllt, Andere, wie E. H. WEBER, VOLKMANN, ich selbst, sehen die umgebenden Theile in ihrer richtigen Lagerung, abgesehen von den Verziehungen, welche die seitlichen Theile des Gesichtsfeldes überhaupt erleiden. Bei wieder Anderen, wie bei FUNCKE, wechselt es, so dafs sie unter etwas veränderten Umständen bald das eine sehen, bald das andere.

Die Unterschiede zeigen sich namentlich deutlich bei folgendem von VOLKMANN erfundenen Versuche: Man setze neun Buchstaben, so wie *A* bis *I* in *Fig. 227*, und fixire mit dem rechten Auge aus einem Abstände von 20 Centimeter das Kreuzchen bei *k*, so wird *E* in die Lücke fallen. Die Gröfse der Lücke ist für mein Auge unter diesen Umständen durch den gestrichelten Kreis angegeben, in dessen Mitte *E* steht. Dadurch, dafs man eine kleine rothe Oblate auf *E* legt und diese nach allen Seiten hin so weit vorschiebt, dafs sie eben anfängt sichtbar zu werden, kann man controlliren, wie grofs die Lücke ist und ob auch keiner der anderen Buchstaben dadurch

verdeckt wird. Sehr gut läßt sich ein entsprechendes Muster auch herstellen mittels verschiedenfarbiger Oblaten, welche man an Stelle der Buchstaben



Fig. 227.

hinlegt. An einem Muster, wie Fig. 227, sehen VOLKMANN und ich selbst die neun Buchstaben *ABCDFGHI* als Seiten eines Quadrats, in geraden Linien stehend, wie sie wirklich stehen, und die Mitte desselben leer. WITTICH dagegen sieht statt der geraden Seiten des Quadrats vier gegen die Mitte convexe Bögen *ABC, CFI, IHG, GDA*. FUNCKE¹ sieht sie convex wie WITTICH, wenn

keine anderen geraden Linien in der Nähe sind, mit denen er ihre Form vergleichen kann, dagegen gerade gestreckt, wie VOLKMANN, wenn durch $\frac{1}{2}$ oder zwischen $\frac{1}{2}$ und *ADG* eine verticale gerade Linie gezogen wird, oder auch, wenn die Reihe *CFI* durch ein weißes Papier verdeckt wird.

Eine gerade Linie, deren Mitte in die Lücke fällt, erscheint v. WITTICH verkürzt, während E. H. WEBER, VOLKMANN und ich sie unverkürzt sehen. Eine Kreisfläche, die nicht ganz, aber beinahe ganz vom blinden Flecke gedeckt wird, deren Rand man aber ringsum sehen kann, erscheint mir ebenso groß, wie eine ebenso weit nach der Nasenseite des Fixationspunktes liegende ähnliche Fläche. Uebrigens glaube ich, wie schon WEBER und VOLKMANN fanden, die ganze Fläche in der Farbe des Randes zu sehen, 580 selbst wenn von diesem nur ein schmaler Streif außerhalb der Lücke liegt. Ja, wenn die Kreisscheibe von engbedrucktem Papier geschnitten ist, so glaube ich sie in ganzer Ausdehnung mit Buchstaben bedeckt zu sehen, bis ich die Aufmerksamkeit genau auf sie richte, wo ich dann erkenne, daß ich in ihrer Mitte nichts unterscheide.

FUNCKE berichtet, daß wenn die Lücke auf bedrucktes Papier fällt und er sich diesseits und jenseits derselben zwei hervorstechende Buchstaben gemerkt hat, diese einander genähert erscheinen. Auch in diesem Falle sehe ich die Buchstaben in ihrer richtigen Distanz.

Diese Widersprüche lassen sich wohl daraus erklären, daß wir als Ergänzung für die Beurtheilung der räumlichen Dimensionen des Sehfeldes, welche hauptsächlich durch die Bewegungen des Auges erlernt ist, auch noch die WEBERSCHEN Empfindungskreise berücksichtigen, namentlich für kleine, einander nahe Objecte, für welche die erstere Art der Beurtheilung vielleicht unvollkommenere Data giebt. Ob zwei seitlich liegende schwarze

¹ FUNCKE, *Berichte der naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg i. Br.* Bd. III. Heft 3, S. 12 u. 13.

Punkte, die auf verschiedenen Seiten des Fixationspunktes sich befinden, von ihm gleich weit abstehen oder nicht, können wir nicht mit derselben Genauigkeit entscheiden, als wenn beide auf derselben Seite und nahe aneinander liegen und zwischen ihnen noch ein weißer Fleck des Grundes sichtbar ist, dann ist es nicht zweifelhaft, welcher dem Fixationspunkt näher ist, welcher ferner.

Nun stimmen in den übrigen Theilen des Sehfeldes beiderlei Bestimmungsweisen nothwendig überein; in der Gegend des blinden Flecks dagegen fehlen die Eindrücke, welche wir zwischen denen des Randes der Lücke erwarten sollten und welche das sinnliche Zeichen ihrer räumlichen Trennung sein sollten. Andererseits können wir mittels der Bewegungen des Auges doch richtige Erfahrungen über die wirkliche Lage der Randpunkte der Lücke machen und sie als getrennt erkennen. Daher ist es möglich, daß verschiedene Beobachter, die bald mehr auf dieses, bald mehr auf jenes Moment zu achten gewohnt sind, verschieden urtheilen, und daß selbst bei einem und demselben Beobachter nebensächliche Verhältnisse für das eine oder andere den Ausschlag geben.

Ich habe früher bemerkt, daß im Allgemeinen die Lücke eines jeden Auges beim gewöhnlichen zweiäugigen Sehen ausgefüllt wird durch das, was das andere Auge an jener Stelle des Sehfeldes wahrnimmt. Diese Regel erleidet aber, wie VOLKMANN gezeigt hat, ebenfalls Ausnahmen. Bezeichnen wir den blinden Fleck des einen Auges mit a , die entsprechende Stelle des andern Auges mit α , die Umgebung von a mit b , die von α mit β , die den beiden Stellen a und α entsprechende Stelle im Gesichtsfelde mit A , ihre Umgebung mit B , so lassen sich leicht folgende Versuche machen:

1. Wir sehen mit dem ersten Auge auf weißes Papier und schliessen das andere Auge, so empfinden wir

auf a : Nichts, auf b : Weiß
auf α : Dunkel, auf β : Dunkel

und meinen zu sehen

auf A : Weiß, auf B : Weiß.

- 581 2. Wir sehen mit beiden Augen auf weißes Papier, halten aber vor das zweite ein blaues Glas; wir empfinden also

auf a : Nichts, auf b : Weiß
auf α : Blau, auf β : Blau

und meinen zu sehen

auf A : Blauweiß, auf B : Blauweiß.

3. Aehnlich fällt der Versuch aus, wenn wir mit beiden Augen durch verschiedenfarbige Gläser sehen, wobei ein ungleichförmiges und wechselndes Gemisch beider Farben im Sehfelde erscheint; auch dann zeichnet sich A von dem Rest des Feldes in keiner Weise aus.

In den bisherigen Fällen, wo die Stelle α ebenso beleuchtet war, wie β , glaubten wir die Lücke in der Farbe des Grundes zu sehen, wobei dann das sonderbare Resultat eintritt, daß die Stelle A des Sehfeldes, die in dem

einen Auge gar keine Empfindung, im andern die von Schwarz oder Blau hervorrufft, uns weiß oder blauweiß erscheint.

4. Nun blicken wir nach einem schwarzen Blatte, auf dem ein weißer Kreis liegt, der der Lücke a entspricht. Wir empfinden

auf a : Nichts, auf b : Schwarz
auf α : Weiß, auf β : Schwarz.

Wir sehen

auf A : Weiß, auf B : Schwarz.

Halten wir vor das zweite Auge ein blaues Glas, so tritt hierbei statt Weiß natürlich überall Blau ein.

5. Wir blicken nach einem weißen Felde, auf dem sich ein schwarzer Fleck, der Lücke a entsprechend, befindet. Wir empfinden

auf a : Nichts, auf b : Weiß
auf α : Schwarz, auf β : Weiß

und sehen

auf A : Schwarz, auf B : Weiß.

6. Nachdem wir die Fixation des vorigen Versuchs eine Weile unverändert unterhalten haben, blicken wir auf einen andern Punkt der weißen Fläche, dann erscheint ein helleres weißes Nachbild des schwarzen Flecks, welches ebenfalls dem Orte der Lücke entspricht. Also auch der schwache Unterschied zwischen dem etwas helleren Weiß des Nachbildes und dem etwas matteren des Grundes genügt, den Gesichtseindruck der Lücke zu bestimmen. Dadurch können nun auch scheinbare Widersprüche mit Versuch 3 eintreten.

7. Die Bedingungen des vorigen Versuchs werden dahin abgeändert, daß ich vor das Auge ab ein grünes Glas, vor $\alpha\beta$ ein rothes setze und erst so fixire, daß der schwarze Fleck der Lücke a entspricht, dann sehe ich den Fleck schwarzgrün, fast als ob ich ihn durch das grüne Glas mit der Lücke a sähe. In Wahrheit aber ist das eine Contrastfarbe im andern Auge auf α gegen den rothen Grund β . Wenn ich eine kleine Weile fixirt habe und dann eine andere Stelle des Papiers fixire, so sehe ich die Stelle A des Gesichtsfeldes rein roth, scheinbar mit dem Auge $\alpha\beta$ allein. Aber in diesem Falle ist es hier das hellere rothe Nachbild des vorhergesehenen Schwarz, wodurch sich α vor β auszeichnet und daher den Eindruck bestimmt. 582

Aus diesen letzteren Versuchen scheint also hervorzugehen, daß der Eindruck auf α das Gesamtbild wenigstens dann bestimmt, wenn α von β durch Helligkeit und Farbe deutlich unterschieden ist. Doch ist auch in solchen Fällen α nicht allein bestimmend.

8. Ich blicke nach einem hellgrauen Papier, auf dem eine weiße Oblate liegt, der Lücke a entsprechend; vor das geschlossene Auge $\alpha\beta$ bringe ich ein rothes Glas und öffne es dann. Nun habe ich in der Empfindung

auf a : Nichts, auf b : Grau
auf α : Roth, auf β : Mattes Roth.

Ich meine zu sehen:

auf A : Rothweifs auf B : Grauroth.

Das Roth auf α , wenn das Auge ab geschlossen ist, ist entschieden gesättigter, als es in A ist, wenn ab geöffnet ist, trotzdem a keinen Eindruck empfängt. Das Entsprechende sieht man auch bei Anwendung andersfarbiger Gläser. Der Unterschied wurde noch deutlicher, wenn ich nahe neben die weisse Oblate eine rothe legte, die durch das rothe Glas gesehen ebenso aussah, wie die weisse. Die rothe Oblate muß aber, bis das Auge hinter dem rothen Glase geöffnet wird, verdeckt werden durch einen dem Grunde gleichfarbigen Schirm, damit sie kein Nachbild entwickelt, welches ihr Roth abschwächt und grau macht, wenn es zur Vergleichung kommt.

In diesem letzteren Falle ist es unverkennbar der Einfluß des grauen Grundes in b , der uns a weißlich sehen läßt. Es lassen sich alle diese Erscheinungen auf das Gesetz zurückführen, daß wir mit beiden Augen die der Lücke entsprechende Stelle A des Sehfeldes um so viel heller oder dunkler als den Grund B zu sehen glauben, wie wir in dem anderen Auge (α und β) sie wirklich heller oder dunkler sehen. Die gemeinsame Färbung des Sehfeldes α und β wird nicht übertragen auf die Lücke des andern Auges, wohl aber die Differenz zwischen α und β auch als für a und b bestehend angeschaut. Aehnliche Verhältnisse werden wir unten in der Lehre vom binocularen Contraste wiederfinden.

Einigen Anstofs haben diejenigen subjektiven Erscheinungen erregt, welche gerade an der Eintrittsstelle des Sehnerven auftreten, wie die Lichtgarben bei schneller Bewegung des Auges und die hellen oder dunklen Kreisflächen bei elektrischer Durchströmung. Zu erklären sind sie nur, wenn man annimmt, daß dabei die den Sehnerven unmittelbar umgebenden Netzhauttheile betroffen sind. Bei der elektrischen Durchströmung erklärt sich dies auch wohl einfach dadurch, daß die hinter der Sclerotica liegende schlecht leitende, sehnige Masse des Sehnerven die elektrische Durchströmung der unmittelbar davor liegenden Netzhauttheile erschwert und diese deshalb gegen das übrige Gesichtsfeld contrastiren. Aufsteigender Strom, der das Gesichtsfeld licht macht, läßt den schlecht leitenden Sehnerveneintritt dunkel erscheinen, absteigender, der das Feld dunkel und röthlichgelb macht, dagegen licht und blau.

583 Für die leuchtenden Garben bei schneller Bewegung des Auges kann man den Beweis für die Richtigkeit dieser Erklärung nicht führen, wohl aber für die entsprechenden dunklen Flecke, welche man sieht, wenn man die Augen stark seitwärts und gegen ein gleichmäßig erleuchtetes Feld wendet. Hat man die Augen nach links gewendet, so sieht man mit dem rechten Auge einen dunklen Fleck nach rechts hin im Gesichtsfelde, dessen rechter Rand sehr gut begrenzt ist, der linke, gegen die Mitte des Gesichtsfeldes gekehrte dagegen sehr unbestimmt. Hier ist auch die Lücke des Gesichts-

feldes; denn wenn man eine Bleistiftspitze vor dieses innere Ende des dunklen Flecks schiebt, verschwindet sie; nicht aber in dem übrigen Theile des dunklen Flecks.

Dagegen sieht man vor dem nach links gewendeten linken Auge den dunklen Fleck zwischen dem Fixationspunkte dieses Auges und dem blinden Flecke liegen. Bei nach links gewendeten Augen wird also die Netzhaut in beiden Augen an der linken Seite des Sehnerven (im Gesichtsfelde ist der dunkle Fleck nach rechts gewendet) unempfindlicher gemacht. Dies ist die Seite, wo der Nervenstamm gegen die Sclerotica hingebogen wird, diese wahrscheinlich etwas einbiegt und so die Netzhaut verzerrt. Für diese dunklen Flecke läßt sich also erweisen, daß sie nicht der eigentlichen Eintrittsstelle des Sehnerven entsprechen, sondern daneben liegen. Die lichten Erscheinungen im dunklen Felde werden hier wohl, ebenso wie bei den Druckbildern, dieselbe Stelle einnehmen; auch meine ich bei darauf besonders gerichteter Aufmerksamkeit erkannt zu haben, daß die Spitze der einen Garbe bis zum Fixationspunkte hinreicht, wie der eine dunkle Fleck. Hiernach sind die oben S. 239 gemachten Angaben über den Ort dieser Flecke zu verbessern.

Wenn man nach zwei ungleich weit entfernten Punkten des Gesichtsfeldes hinsieht, für welche das Auge also auch nicht gleichzeitig vollkommen accommodirt sein kann, so sieht man wenigstens den einen derselben als Zerstreuungsbild. Der Strahlenkegel, welcher dieses Zerstreuungsbild bildet, wird abgegrenzt durch die Oeffnung der Pupille, und es liegt derjenige Strahl in der Axe dieses Strahlenkegels, welcher durch den Mittelpunkt der Pupille gegangen ist. Wenn also auf denselben Netzhautpunkt a die Mittelpunkte zweier Zerstreuungskreise ungleich weit entfernter Punkte zusammenfallen, oder ein punktförmiges Bild mit der Mitte des Zerstreuungsbildes des zweiten Punktes, so müssen diejenigen beiden Strahlen beider Objectpunkte, welche durch den Mittelpunkt der Pupille gegangen sind, ganz zusammenfallen, oder derjenige Strahl, welcher durch beide Objectpunkte geht, muß nachher durch den Mittelpunkt der Pupille gehen.

Der Mittelpunkt der Pupille befindet sich nun im Innern des optischen Systems des Auges, vor ihm liegt die Hornhaut, hinter ihm die Krystallinse. Die Strahlen erleiden also eine Brechung, ehe sie zu diesem Punkte gelangen, und werden auch noch wieder von ihrem Wege abgelenkt, nachdem sie ihn verlassen haben.

Strahlen, welche von dem wirklichen Mittelpunkte der Pupille ausgehen, werden in der Hornhaut so gebrochen, daß sie nachher von dem Bilde des Mittelpunktes der Pupille, welches die Hornhaut entwirft, auszugehen scheinen werden. Umgekehrt Strahlen, welche außerhalb des Auges gegen das Bild des Mittelpunktes der Pupille convergiren, werden durch den Mittelpunkt der Pupille selbst hindurchgehen.

Das Bild, welches bei der Brechung der Strahlen in der Hornhaut vom Mittelpunkte der Pupille entworfen wird, ist also derjenige Punkt, welchen wir den Kreuzungspunkt der Visirlinien genannt haben. Wenn zwei leuchtende Punkte vor dem Auge in einer durch diesen Punkt gehenden geraden Linie liegen, so fallen die Mittelpunkte ihrer Zerstreuungskreise auf der Netzhaut zusammen.

Für das schematische Auge, welches auf S. 140 berechnet ist, habe ich auch den Abstand des Kreuzungspunktes der Visirlinien von der Hornhaut in Millimetern berechnet:

	Fernsehend	Nahesehend
1. Abstand des Mittelpunktes der Pupille	3,6 Millim.	3,2 Millim.
2. Abstand des Kreuzungspunktes der Visirlinien von der Hornhaut	3,036 "	2,661 "
3. Abstand des Kreuzungspunktes von dem Mittelpunkte der Pupille	0,564 "	0,539 "

In anderer Weise bestimmt sich der Scheitelpunkt der Gesichtswinkel, wenn die Accommodation des Auges fortdauernd den beobachteten Objecten angepaßt wird, weil nämlich bei der veränderten Accommodation des Auges die Knotenpunkte selbst sich verrücken. Wir finden diesen Scheitelpunkt unter diesen Bedingungen in folgender Weise am einfachsten.

Setzen wir voraus, es sei der Punkt *A*, *Fig. 228*, der gesuchte Scheitelpunkt der Gesichtswinkel *DA* und *CA* zwei durch ihn gezogene gerade Linien, welche

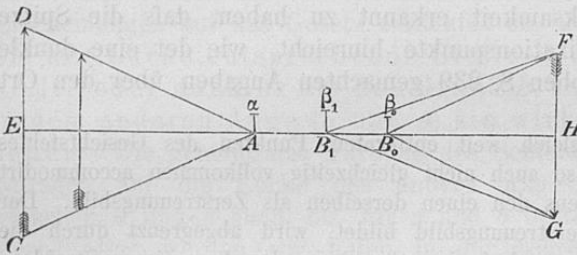


Fig. 228.

gleiche Winkel mit der optischen Axe *EA* machen, und mit ihr in einer Ebene liegen. Es wird verlangt, daß Objecte wie die beiden Pfeile, wenn ihre Endpunkte in den Linien *DA* und *CA* liegen, gleich große Netzhautbilder *FG* geben, wenn das Auge für die Endpunkte der betreffenden Objecte richtig accommodirt ist. Nun sei *B₀* das Bild von

A im fernsehenden Auge, *B₁* dasselbe im nahesehenden Auge. Wenn wir die Linien *DA* und *CA* als Strahlen betrachten, so werden diese so gebrochen werden, daß sie im Glaskörper von *B₀* oder *B₁* aus divergiren, um beziehlich nach *F* und *G* zu gehen.

Nun denke man sich im Punkte *A* ein kleines, zur Axe senkrechtes Object α , und in *B₀*, beziehlich *B₁* dessen optische Bilder β_0 , beziehlich β_1 , so findet nach S. 71, Gleichung 7 d), folgende Beziehung zwischen den Winkeln *DAC*, *FB₀G*, *FB₁G* und diesen Bildern statt

$$\begin{aligned}
 n_1 \cdot \alpha \cdot \tan \frac{DAC}{2} &= n_2 \cdot \beta_0 \cdot \tan \frac{FB_0G}{2} \\
 &= n_2 \cdot \beta_1 \cdot \tan \frac{FB_1G}{2},
 \end{aligned}$$

wo n_1 und n_2 die Brechungsverhältnisse von Luft- und Glaskörper sind. Da nun

$$\tan \frac{FB_0G}{2} = \frac{FH}{HB_0}$$

$$\tan \frac{FB_1G}{2} = \frac{FH}{HB_1},$$

585 so folgt

$$\beta_0 : \beta_1 = HB_0 : HB_1.$$

Der gesuchte Scheitelpunkt der Gesichtswinkel ist also durch die Eigenschaft charakterisirt, dafs wenn in ihm ein kleines, zur Axe senkrecht (virtuelles) Object liegt, dessen Bild bei den Veränderungen der Accommodation seinem Abstände von der Netzhaut proportional wächst.

Wenn man für die mittleren Werthe der optischen Constanten des fernsehenden und nahesehenden Auges, welche auf S. 140 gegeben sind, die Lage dieses Punktes berechnet, so findet man seinen Abstand gleich 2,942 Millimeter von der Hornhaut, so dafs er fast genau zusammenfällt mit dem vorher berechneten Kreuzungspunkt der Visirlinien des fernsehenden Auges, dessen Abstand gleich 3,036 Mm. von der Hornhaut gefunden war. Bei den praktischen Anwendungen können wir daher beide Punkte als zusammenfallend betrachten, besonders da so kleine Unterschiede, wie der hier gefundene, bei dem bisher erreichbaren Grade der Genauigkeit unserer Kenntniß der optischen Constanten des Auges nicht zu verbürgen sind.

Für die Gröfse der Gesichtswinkel des unbewegten Auges würde es danach keinen Unterschied machen, ob wir seine Accommodation den zu beobachtenden Punkten anpassen oder das Auge für unendliche Ferne einrichten.

J. B. LISTING¹ hat den Unterschied des Winkels, den zwei von zwei Objectpunkten nach dem Knotenpunkte des Auges gezogene Linien bilden, von demjenigen, welchen die von denselben Objectpunkten nach dem Drehpunkte des Auges gezogenen Linien bilden, die Parallaxe zwischen der scheinbaren Lage der Objecte bei directem und indirectem Sehen genannt. Ich würde es vorziehen, diesen Namen so anzuwenden, dafs als Spitze des ersten Winkels der Kreuzungspunkt der Visirlinien² gebraucht würde, weil zwei punktförmige Objecte im indirecten Sehen gleiche Lagen haben, wenn sie in derselben Visirlinie liegen.

Diese Parallaxe ist gleich Null, wenn die Objecte unendlich entfernt sind; weil für unendlich weit entfernte Objecte die Schenkel der beiden zu vergleichenden Winkel einander paarweise parallel werden. Ist nun das eine Object unendlich entfernt, so bezeichnet die genannte Parallaxe, um wie viel sich scheinbar das nähere Object vor einem unendlich entfernten Hintergrunde verschiebt, wenn man den Blick auf dasselbe hinrichtet.

Um für diesen verhältnißmäfsig einfachsten Fall die Gröfse der genannten Parallaxe vergleichen zu können mit den Ungenauigkeiten der Accommodation, sei in *Fig. 229* *o* der Drehpunkt des Auges, $oc = oe = \sigma$ die Entfernung des Kreuzungspunktes der Visirlinien. In der Richtung *oa* liege das fernere Object, *b* sei das nähere, so wird *b*, wenn es direct fixirt wird, in der Richtung *bg* erscheinen und die in dieser Richtung liegenden Theile des unendlich entfernten Hintergrundes decken. Wenn aber in der Richtung *oa* fixirt wird, wird der Kreuzungspunkt

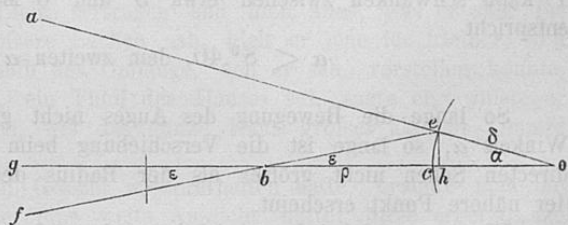


Fig. 229.

¹ J. B. LISTING, *Beitrag zur physiologischen Optik*. Göttingen 1845. S. 14–16.

² Bei LISTING sind Visirlinien die vom Objecte nach dem Drehpunkt des Auges gezogenen Linien.

der Visirlinien in e liegen und b in der Richtung ef erscheinen. Der Winkel 586 $ebc = fbg = \varepsilon$ ist also die Parallaxe zwischen directem und indirectem Sehen. Bezeichnen wir den Abstand des Punktes b vom Punkte c mit ϱ , so ist

$$\text{tang } \varepsilon = \frac{eh}{hb} = \frac{\sigma \sin \alpha}{\varrho + \sigma (1 - \cos \alpha)}$$

Der Durchmesser p des Zerstreuungskreises von b in einem für unendliche Ferne accommodirten Auge ist nach S. 126, Gleichung 1 b), wenn P der Durchmesser der durch die Krystalllinse gesehenen Pupille und H der Abstand des vorderen Brennpunktes vom Kreuzungspunkte der Visirlinien ist

$$p = \frac{P \cdot H}{\varrho}$$

und wenn η der Winkel ist, unter dem der Radius des Zerstreuungskreises auf den unendlich entfernten Hintergrund entworfen erscheint, f aber der Abstand des Knotenpunktes der Hornhaut vom hintern Brennpunkte, so ist

$$\text{tang } \eta = \frac{p}{2f} = \frac{P \cdot H}{2\varrho \cdot f}$$

und wenn wir in dem Werthe von $\text{tang } \varepsilon$ die Gröfse σ (10,5 Millimeter) gegen ϱ (die Entfernung des Objectes) vernachlässigen, so ist

$$\text{tang } \varepsilon = \frac{\sigma \sin \alpha}{\varrho}$$

und daher $\eta > \varepsilon$, so lange

$$\frac{PH}{2\sigma f} > \sin \alpha.$$

Es ist aber für das fernsehende Auge

$$\begin{aligned} H &= 15,869 \text{ Millimeter,} \\ f &= 15,007 \quad \text{''} \\ \sigma &= 10,521 \quad \text{''} \end{aligned}$$

P kann schwanken zwischen etwa 3 und 6 Millimeter; dem ersten Werthe entspricht

$$\alpha < 8^{\circ},40, \text{ dem zweiten } \alpha < 17^{\circ},33.$$

So lange die Bewegung des Auges nicht gröfser ist, als diese Werthe des Winkels α , so lange ist die Verschiebung beim Uebergang vom indirecten zum directen Sehen nicht gröfser als der Radius des Zerstreuungskreises, unter dem der nähere Punkt erscheint.

Wenn man dabei berücksichtigt, wie außerordentlich undeutlich das indirecte Sehen in 8° Entfernung vom Blickpunkte ist, so wird dadurch begreiflich, daß wir nur ausnahmsweise, wenn irgend ein sehr heller Punkt hinter dem Rande eines dunklen Schirms auftaucht, die Veränderung des Bildes, welche von den Bewegungen des Auges abhängt, bemerken.

Ich lasse hier noch zwei wichtige Actenstücke für die Lehre von dem Verständniß der Gesichterscheinungen folgen, welche die Beobachtungen von CHESELDEN und WARDROP an zwei Blindgeborenen berichten, denen erst in späterem Alter das Gesicht durch eine Operation wiedergegeben wurde. CHESELDEN operirte einen Knaben von 13 Jahren, welcher mit sehr stark getrübbten Krystall-linsen (grauem Staar) geboren war.

CHESELDEN¹ berichtet Folgendes über seine Fähigkeit, Formen zu unter- 587
scheiden: „Anfangs, nachdem er sein Gesicht bekommen hatte, wußte er so wenig über Entfernungen zu urtheilen, daß er sich vielmehr einbildete, alle Sachen, die er sähe, berührten seine Augen, wie das, was er fühlte, seine Haut. Keine Sachen waren ihm so angenehm, als glatte und regelmässige (vielleicht wegen des einfacheren und leichter zu analysirenden Gesichtseindrucks, oder wegen des Glanzes?), ob er wohl von ihrer Gestalt nicht urtheilen oder errathen konnte, was ihm an einer Sache gefiele. Er machte sich keinen Begriff von der Gestalt irgend einer Sache, unterschied auch keine Sache von der anderen, so verschieden sie auch an Gestalt und Gröfse waren; wenn man ihm aber sagte, was das für Dinge wären, die er zuvor durchs Gefühl erkannt hatte, so betrachtete er sie sehr aufmerksam, um sie wieder zu kennen; weil er aber auf einmal zu viel Sachen zu lernen hatte, vergafs er immer wieder viel davon und lernte, wie er sagte, in einem Tage tausend Dinge kennen und vergafs sie wieder. Zum Exempel, er hatte oft vergessen, welches die Katze und welches der Hund war, und schämte sich darum weiter zu fragen; fing also die Katze, die er durch das Gefühl kannte, betrachtete sie sehr genau, setzte sie nieder und sagte: „So, Miezechen, nun will ich dich ein andermal kennen“. — Man glaubte, er würde bald verstehen lernen, was Gemälde vorstellten, es zeigte sich aber das Gegentheil. Denn zwei Monate, nachdem ihm der Staar gestochen war, machte er plötzlich die Entdeckung, daß sie Körper mit Erhöhungen und Vertiefungen darstellten; bis dahin hatte er sie nur als buntscheckige Flächen angesehen. Dabei aber erstaunte er nicht wenig, daß sich die Gemälde nicht so anfühlen liefsen, wie die Dinge, welche sie vorstellten, und daß die Theile, welche durch ihr Licht und Schatten rund und uneben aussahen, flach, wie die übrigen, anzufühlen waren. Er fragte, welcher von seinen Sinnen ihn betröge, das Gefühl oder das Gesicht. Als man ihm seines Vaters Bild in einem Angehänge an seiner Mutter Uhr zeigte und ihm sagte, was es wäre, erkannte er es für ähnlich, wunderte sich aber sehr, daß ein großes Gesicht sich in einem so kleinen Raume vorstellen liefs, welches ihm, wie er sagte, so unmöglich würde geschienen haben, als einen Scheffel in eine Metze zu bringen.

„Anfangs konnte er wenig Licht vertragen und hielt alles, was er sah, für ungemein groß; als er aber gröfsere Sachen sah, hielt er jene für kleiner, weil er sich gar keine Linien auferhalb des Umfangs, den er sah, vorstellen konnte. Daß das Zimmer, worin er wäre, ein Theil des Hauses sei, sagte er, wußte er wohl, könnte aber nicht begreifen, wie das ganze Haus gröfser als das Zimmer aussehen könnte.

„Ein Jahr, nachdem er sein Gesicht wiedererhalten hatte, brachte man ihn auf die Dünen von Epsom, wo er eine weite Aussicht hatte; diese ergötzte ihn gar sehr und war ihm, wie er sagte, eine neue Art von Sehen.

„Als ihm der Staar an dem andern Auge gestochen ward, kamen ihm, wie

¹ CHESELDEN, *Phil. Transact.* 1728. XXXV, p. 447: *Smith Opticks Remarks*, p. 27.

er sagte, die Sachen mit diesem Auge gröfser vor, doch nicht so grofs, als sie ihm anfangs mit dem ersten erschienen waren. Wenn er einerlei Sache mit beiden Augen ansah, so kam sie ihm noch einmal so grofs vor, als mit dem zuerst erhaltenen allein; aber doppelt sah er nichts, soviel man entdecken konnte.“

Hierbei ist zu bemerken, dafs auch bei einer noch so undurchsichtigen Linse der Blinde immer im Stande war zu lernen, wie er die Augen bewegen mußte, um von der Sonne den hellsten Eindruck zu empfangen, d. h. nach der Sonne hinzusehen. Also in der Beurtheilung der Richtung der Objecte aus der Richtung des Blicks nach ihnen hin konnte er nicht als ganz ungeübt betrachtet werden.

588 Ja, es ist selbst unwahrscheinlich, dafs die Linse jemals das Licht so vollständig gleichmäfsig nach allen Richtungen hin verstreue, dafs nicht doch am Ende die Theile der Netzhaut, welche dem Orte, wo der Focus der Strahlen sich bilden sollte, benachbart waren, etwas stärker erleuchtet gewesen wären, als die übrige Fläche der Netzhaut. Dann konnte auch selbst ein gewisser, wenn auch sehr unvollkommener und ungenauer Grad der Localisirung im Sehfelde ausgebildet sein, wie auch J. WARE¹ bei einem ähnlichen Falle bemerkte. Letzterer fand, dafs Kinder mit Cataract nicht nur die Farben gefärbter Gegenstände, die man dem Auge nahe brachte, noch erkennen konnten, sondern sogar einigermaßen die Entfernung. Ein siebenjähriger Knabe, der von WARE operirt war, war von Anfang an viel geschickter und sicherer als CHESELDEN'S Patient. Es ist sehr interessant, dafs in dem beschriebenen Falle dennoch das Erlernen der Gesichtswahrnehmungen so deutlich hervortritt.

Noch merkwürdiger in mancher Beziehung ist ein von WARDROP² mitgetheilte Fall von einer Dame, welche blind, wahrscheinlich mit getrübbten Linsen geboren war. Im Alter von sechs Monaten wurde sie in Paris einer Operation unterworfen, nach welcher das rechte Auge ganz zu Grunde ging, im andern die Pupille vollständig verwuchs, so dafs keine Spur derselben mehr zu sehen war, aufser einigen Streifen von gelben Ausschwitzungen, die in unregelmäfsiger Weise über die Mitte der Iris verbreitet waren. Sie war demnach viel blinder, als Staarkranke zu sein pflegen, und konnte wohl kaum mehr vom Licht und seiner Richtung erkennen, als Gesunde hinter den geschlossenen Augenlidern erkennen können. Sie konnte ein sehr helles von einem dunklen Zimmer unterscheiden, ohne indessen die Richtung des Fensters erkennen zu können, durch welches das Licht drang; dagegen bei Sonnenschein und hellem Mondschein erkannte sie die Richtung, wo das Licht herkam.

Am 26. Januar 1826 wurde versucht, die Ausschwitzungen, die die Pupille verschlossen, zu durchschneiden, was nicht gelang. Am 8. Februar darauf wurde ein Schnitt durch die Iris gemacht, der reichlich Licht in das Auge treten liefs; hinter demselben lag aber noch eine undurchsichtige Masse. Während der mäfsigen Entzündung, welche folgte, war die Patientin gegen Licht sehr empfindlich; man bemerkte, dafs sie oft versuchte ihre Hände zu sehen. Am 17. Februar endlich wurde die Oeffnung in der Iris erweitert und die opaken Massen hinter derselben entfernt, wodurch endlich das Sehen frei wurde. Ich lasse hier das Wesentliche von WARDROP'S Bericht folgen:

¹ J. WARE *Case of a young gentleman who recovered his sight, when seven years of age.* *Phil. Trans.* 1801. XCI. p. 382—396

² J. WARDROP *Case of a lady born blind, who received sight at an advanced age by the formation of an artificial pupil.* *Phil. Trans.* 1826. III. 529—540.

„Nach der Operation kehrte sie in einem Wagen nach Haus zurück, die Augen nur lose mit einem seidenen Tuch verbunden; das erste, was sie bemerkte, war ein Miethwagen, der vorbeikam, wobei sie ausrief: „Was für ein großes Ding ist da bei uns vorbeigekommen?“ Im Lauf des Abends bat sie ihren Bruder, ihr seine Uhr zu zeigen, in Betreff deren sie viel Neugier bewies, und sie blickte nach ihr eine geraume Zeit, indem sie sie nahe an ihr Auge hielt. Man fragte, was sie sähe, und sie antwortete, daß eine Seite dunkel und die andere hell wäre; sie zeigte auch auf die Ziffer 12 und lächelte. Ihr Bruder fragte, ob sie noch etwas mehr sähe? sie antwortete „Ja“ und zeigte auf die Ziffer 6 und auf die Zeiger der Uhr. Dann betrachtete sie die Kette und die Siegel, und bemerkte, daß eines der Siegel hell sei, was in der That sich so verhielt, da es aus Bergkrystall war. Am andern Tage bat sie Herr WARDROP wieder nach der Uhr zu sehen, was sie verweigerte, indem sie sagte, daß das Licht ihrem Auge wehe thäte und daß sie sich äußerst dumm vorkäme, indem sie damit meinte, sie sei zu sehr verwirrt durch die sichtbare Welt, die ihr so zum ersten Male eröffnet war. Am dritten Tage bemerkte sie Thüren an der andern Seite der Straße und fragte, ob sie roth seien; sie waren in der That von der Farbe des Eichenholzes. Am Abend blickte sie nach ihres Bruders Gesicht und sagte, sie sähe seine Nase; er forderte sie auf, danach zu greifen, was sie that; dann warf er sich ein Taschentuch über das Gesicht und sagte, sie möchte noch einmal hinsehen, worauf sie es scherzend fortzog und fragte: „Was soll das heißen?“

Am sechsten Tage erklärte sie, daß sie besser sähe, als an irgend einem der vorigen Tage; „aber ich kann nicht sagen, was ich sehe, ich bin ganz dumm“. Sie schien in der That dadurch ganz verwirrt zu sein, daß sie nicht fähig war, die Wahrnehmungen durch den Tastsinn mit denen durch den Gesichtssinn zu combiniren, und fühlte sich enttäuscht, daß sie nicht fähig war, sogleich Gegenstände mit dem Auge zu unterscheiden, die sie so leicht durch Betasten unterscheiden konnte.

Am siebenten Tage bemerkte sie die Hauswirthin, bei der sie wohnte, und erklärte, daß sie schlank sei. Sie fragte, was die Farbe ihres Kleides sei? worauf man antwortete, es sei blau. „So ist auch das Ding auf Eurem Kopfe“, bemerkte sie, was richtig war; „und Euer Taschentuch ist von anderer Farbe“, was auch richtig war. Sie fügte hinzu: „Ich sehe Euch ziemlich gut, denke ich.“ Theetassen und Untertassen wurden einer Prüfung unterzogen. „Was ist dies?“ fragte ihr Bruder. „Ich weiß es nicht“, antwortete sie, „es sieht sehr verqueer aus; aber ich kann im Augenblick sagen, was es ist, wenn ich es anfasse.“ Sie sah eine Orange über dem Kamin liegen, aber hatte keinen Begriff, was es wäre, bis sie sie berührte. Sie schien nun heiterer zu werden und größere Hoffnungen auf ihren Eintritt in die Welt des Sichtbaren zu hegen; auch meinte sie, daß sie ihre neu erworbenen Fähigkeiten würde besser gebrauchen können, wenn sie nach Haus zurückkäme, wo ihr Alles genau bekannt war.

Am achten Tage fragte sie ihren Bruder bei Tische, was er sich da gerade nähme; und als ihr gesagt wurde, es sei ein Glas mit Portwein, antwortete sie: „Portwein ist dunkel und sieht sehr häßlich aus.“ Als Kerzen in das Zimmer gebracht wurden, bemerkte sie ihres Bruders Gesicht im Spiegel und auch das einer anwesenden Dame; sie ging auch zum ersten Male ohne Beistand von ihrem Stuhl zu einem Sopha und wieder zurück zu dem Stuhl. Beim Thee fiel ihr das Geschirr auf, sie bemerkte den Glanz des Porzellans und sie fragte: „was die Farbe

längs der Kante sei“. Man sagte ihr, es sei Gelb, worauf sie erwiderte: „Die Farbe will ich wieder kennen.“

Am neunten Tage kam sie zum Frühstück herab in sehr guter Laune; sie sagte zu ihrem Bruder: „Heut sehe ich Dich sehr gut“, kam zu ihm heran und reichte ihm die Hand. Sie bemerkte auch einen Miethzettel an dem Fenster eines Hauses auf der entgegengesetzten Seite der Strafe, und ihr Bruder, um sich zu überzeugen, führte sie drei verschiedene Male an das Fenster, und zu seinem Erstaunen und Freude deutete sie jedesmal ganz bestimmt danach hin.

Sie brachte einen großen Theil des eilften Tages damit zu, aus dem Fenster zu sehen, und sprach sehr wenig.

Am zwölften Tage wurde ihr der Rath gegeben auszugehen, wörtlich sie sehr vergnügt war. Ihr Bruder ging mit ihr, als ihr Führer, und nahm sie mit sich zweimal um die Säulenhallen von Coventgarden herum. Sie schien sehr erstaunt, aber offenbar erfreut zu sein; der klare blaue Himmel zog ihre Aufmerksamkeit zuerst auf sich, und sie sagte: „Das ist das Hübscheste, was ich bisher gesehen
590 habe, und immer gleich hübsch, so oft ich mich danach wende und hinsehe“. Sie unterschied den Straßendamm vom Trottoir und trat von dem einen zum andern herüber, wie Jemand, der an den Gebrauch seiner Augen gewöhnt ist. Ihre große Neugier und die Art, wie sie die Menge von Gegenständen rings herum anstarrte und danach zeigte, erregte die Aufmerksamkeit der Vorübergehenden und ihr Bruder brachte sie bald nach Hause, sehr gegen ihren Willen.

Am dreizehnten Tage trug sich nichts Besonderes zu bis zur Theezeit, wo sie bemerkte, daß anderes Theegeschirr aufgesetzt war, welches nicht hübsch sei und einen dunkeln Rand habe, was eine richtige Angabe war. Ihr Bruder forderte sie auf, in den Spiegel zu sehen und ihm zu sagen, ob sie sein Gesicht darin sähe; worauf sie, sichtbar enttäuscht, antwortete: „Ich sehe mein eignes; laß mich gehen“.

Am vierzehnten Tage fuhr sie in einem Wagen vier Meilen weit auf der Wandsworth-Strafe, bewunderte meistens den Himmel und die Felder, bemerkte die Bäume und auch die Themse, als sie über Vauxhallbrücke kam. Es war heller Sonnenschein und sie sagte, daß etwas sie blende, wenn sie auf das Wasser sähe.

Am fünfzehnten Tage, einem Sonntage, ging sie nach einer Kapelle in einiger Entfernung; sie sah jetzt entschieden deutlicher als früher, aber erschien noch verwirrt als während der Zeit, wo ihr Gesicht weniger vollkommen war. Die Leute, welche auf dem Trottoir vorbeikamen, erschreckten sie; und einmal als ein Herr an ihr vorbeikam, der eine weiße Weste und einen blauen Rock mit gelben Knöpfen hatte, die im Sonnenschein stark erglänzten, schreckte sie so zusammen, daß sie ihren Bruder, der mit ihr ging, von dem Trottoir herabzog. Sie erkannte, daß der Geistliche seine Hände auf der Kanzel bewegte und daß er etwas darin hielt; es war ein weißes Taschentuch.

Am sechzehnten Tage fuhr sie aus, um eine Visite in einem entfernten Theile der Stadt zu machen; das Getreibe in den Strafen schien sie sehr zu unterhalten. Als sie gefragt wurde, wie sie an diesem Tage sähe, antwortete sie: „Ich sehe sehr viel, wenn ich nur sagen könnte, was ich sehe; aber sicherlich, ich bin sehr dumm“.

Nichts Besonderes fiel am siebzehnten Tage vor; und als ihr Bruder sie fragte, wie es ihr ginge, antwortete sie: „Es geht mir gut, und ich sehe immer besser; aber quält mich nicht mit vielen Fragen, bis ich etwas besser gelernt habe,

meine Augen zu gebrauchen. Alles, was ich sagen kann, ist, dafs ich versichert bin durch alles Das, was ich sehe, welch' eine grofse Veränderung mit mir vorgegangen ist; aber ich kann nicht beschreiben, was ich empfinde.“

Achtzehn Tage nach der Operation versuchte Herr WARDROP durch einige Proben die Genauigkeit ihrer Begriffe von der Farbe, Gestalt, Form, Lage, Bewegung, Entfernung der äufseren Objecte festzustellen. Da sie nur mit einem Auge sehen konnte, konnte nichts ermittelt werden über das Doppelsehen mit zwei Augen. Sie erkannte offenbar die Verschiedenheit der Farben, das heißt, sie erhielt und empfand verschiedene Eindrücke von verschiedenen Farben. Als ihr verschiedenfarbige Stücke Papier, $1\frac{1}{2}$ Zoll im Quadrat, vorgelegt wurden, unterschied sie sie nicht nur sogleich von einander, sondern gab einigen Farben auch einen entschiedenen Vorzug; Gelb gefiel ihr am besten, und dann Rosaroth. Hierbei mag noch bemerkt werden, dafs wenn sie einen Gegenstand zu prüfen wünschte, es ihr ziemlich schwer wurde, ihr Auge dahin zu richten und seine Lage ausfindig zu machen, indem sie ihre Hand sowohl, wie ihr Auge in verschiedenen Richtungen herum bewegte, wie Jemand mit verbundenen Augen oder im Dunkeln mit seinen Händen umhergreift, um zu fassen, was er wünscht. Sie unterschied auch grofse von kleinen Gegenständen, wenn beide ihr neben einander zum Vergleich vorgehalten wurden. Sie sagte, sie sähe verschiedene Formen an verschiedenen Gegenständen, die ihr gezeigt wurden. Man fragte, was sie meinte unter verschiedenen Formen, zum Beispiel langen, runden, viereckigen, und nachdem man sie gebeten hatte, mit ihrem Finger diese Formen auf ihrer anderen Hand zu zeichnen, brachte man vor ihr Auge die betreffenden Formen, wobei sie richtig nach ihnen hinwies. Sie unterschied nicht nur kleine von grofsen Gegenständen, sondern wufste auch, was oben und unten sei. Um dies zu prüfen, wurde eine mit Tinte gezeichnete Figur vor ihr Auge gebracht, deren eines Ende breit, das andere schmal war; sie sah deren Lage, wie sie wirklich war, nicht umgekehrt. Sie konnte auch Bewegungen bemerken; denn als ein Glas Wasser auf den Tisch vor sie gestellt wurde und als sie ihre Hand näherte, schnell fortgezogen wurde in gröfsere Entfernung, sagte sie sogleich: „Sie bewegen es; Sie nehmen es fort“.

Sie schien dagegen die größte Schwierigkeit zu haben in der Schätzung der Entfernung der Dinge; denn während ein Gegenstand dicht vor ihr Auge gehalten wurde, suchte sie wohl danach mit ausgestreckter Hand weit jenseits seiner wirklichen Lage, während sie bei anderen Gelegenheiten nahe an ihrem Gesicht herumgriff nach einem Dinge, was weit entfernt war.

Sie lernte mit Leichtigkeit die Namen der verschiedenen Farben, und zwei Tage, nachdem ihr die farbigen Papiere gezeigt waren, bemerkte sie beim Eintritt in ein carminrothes Zimmer, dafs es roth sei. Sie bemerkte auch einige Gemälde, die an der rothen Wand des Zimmers hingen, in dem sie safs, wobei sie einige kleine Figuren auf ihnen unterschied, aber nicht wufste, was sie darstellten, und die vergoldeten Rahmen bewunderte.

Dabei mag noch bemerkt werden, dafs sie durch die Uebung ihres Gesichts nur sehr wenig Kenntnifs irgend welcher Formen gewonnen hatte und unfähig war, die Wahrnehmungen des neu gewonnenen Sinnes anzuwenden und zu vergleichen mit dem, was sie durch den Tastsinn zu erkennen gewöhnt war. Als man daher den Versuch machte, ihr einen silbernen Bleistifthalter und einen grofsen Schlüssel in die Hand zu geben, so unterschied sie und erkannte beide ganz genau. Aber wenn sie neben einander auf den Tisch gelegt wurden, sah sie, dafs beide ver-

schieden seien, aber sie konnte nicht sagen, welches der Bleistifthalter sei und welches der Schlüssel.

Nichts weiter kam vor in der Geschichte dieser Dame, was der Erwähnung werth wäre, bis zum fünfundzwanzigsten Tage nach der Operation. An dem Tage fuhr sie in einem Wagen durch Regent's Park, und schien dort mehr als gewöhnlich sich zu unterhalten, und stellte mehr Fragen über die umgebenden Gegenstände, zum Beispiel: „Was ist das?“ Es ist ein Soldat, war die Antwort. „Und das, sieh! sieh!“ Es waren Kerzen von verschiedenen Farben in einem Ladenfenster. „Was ist das, das da vorbeikam?“ Es war ein Herr zu Pferde. „Aber was ist da Rothes auf dem Trottoir?“ Es waren ein Paar Damen, die rothe Shawls trugen. Als sie in den Park kam, wurde sie gefragt, was sie vorzugsweise sähe, oder ob sie errathen könnte, was einzelne von den Gegenständen wären. „O ja“, antwortete sie, „da ist der Himmel, da ist Gras, dort ist Wasser und zwei weisse Dinge“, welches zwei Schwäne waren. Als sie auf dem Rückweg durch Piccadilly kam, erstaunte sie sehr über die Juwelierläden und ihre Aeußerungen erregten herzliches Lachen bei ihren Begleitern.

592 Von da bis zu der Zeit, wo sie London verließ, am 31. März, sechs Wochen nach der Operation, fuhr sie fort, fast täglich mehr Kenntniß der sichtbaren Welt zu gewinnen, aber es blieb noch viel zu lernen übrig. Sie hatte eine ziemlich genaue Kenntniß der Farben und ihrer verschiedenen Abstufungen und Namen gewonnen; und als sie Herrn WARDROP ihren Abschiedsbesuch machte, trug sie das erste Kleid, was sie sich selbst ausgewählt hatte, helles Purpurroth, was ihr sehr zu gefallen schien, ebenso wie ihr Hut, der mit rothen Bändern geziert war. Sie hatte noch durchaus keine genaue Kenntniß der Entfernungen oder Formen gewonnen, und bis zu dieser Zeit hin war sie immer noch verwirrt bei jedem (neuen) Gegenstand, auf den sie blickte. Auch war sie noch nicht fähig, ohne beträchtliche Schwierigkeit und zahllose vergebliche Versuche, ihr Auge auf einen Gegenstand zu richten, so daß, wenn sie versuchte danach hinzublicken, sie ihren Kopf nach verschiedenen Seiten wendete, bis ihr Auge den Gegenstand erfaßte, nach dem sie suchte. Sie hegte indessen noch immer die Hoffnung, die sie kurz nach der Operation geäußert hatte, daß wenn sie nach Hause käme, ihre Kenntniß der Aufsendinge genauer und verständlicher werden würde, und daß, wenn sie auf die Sachen blicken könnte, mit denen ihr Tastsinn so lange vertraut gewesen war, die Verwirrung, welche die Mannigfaltigkeit der Gegenstände ihr bis jetzt verursacht hatte, schwinden würde.

So weit WARDROP. Es ist bei diesem Berichte zu bedenken, daß die Patientin vor der letzten Operation schon mehrere Tage lang sich bemüht hat, bei freilich noch nicht vollständig wiedererlangtem Gesichtsvermögen, ihre Hände zu besehen, und daher wohl gelernt haben konnte, diese im Gesichtsfelde zu kennen und ihren Bewegungen mit dem Blicke zu folgen, wie sie denn auch selbst vorher schon gelernt haben konnte, ihre Augen der Sonne zuzuwenden, also einen gewissen Grad der Richtung des Blicks und die Kenntniß der ohngefähren Richtung, aus der das ihre Augen erregende Licht herkam, erhalten haben mochte. Die optischen Bilder in ihrem Auge müssen ziemlich gut gewesen sein, da sie die Ziffern und Zeiger einer Taschenuhr, einen Mietszettel an einem gegenüberliegenden Fenster, Wachskerzen, Juwelenschmuck am Schaufenster von der Mitte der Strafe her aus dem Wagen erkennen konnte. Das Erste, was sie als Gegenstände unterscheiden lernte, waren bewegliche Dinge, namentlich menschliche Gestalten und durch Farbe

hervorstechende Objecte, wie die röthlichen Thüren, die Orange, die farbigen Kleider der Frauen. Es ist übrigens auch bei den neugeborenen Kindern auffallend, wie viel früher sie menschliche Gestalten und Gesichter zu erkennen und mit dem Blicke zu verfolgen wissen, als andere Gegenstände. Die menschlichen Gestalten ziehen natürlich vor anderen Dingen das Interesse auf sich und sind durch die Art der Bewegungen, die sie ausführen, von andern Objecten des Gesichtsfeldes wesentlich unterschieden. Bei diesen Bewegungen sind sie auch als zusammenhängendes Ganzes charakterisirt, und das Gesicht, als ein weifs-röthlicher Fleck mit den beiden glänzenden Augen ist immerhin eine Stelle dieses Bildes, welche leicht wiederzuerkennen sein wird, auch für Jemanden, der sie erst wenige Male gesehen hat.

Was die Unterscheidung der Formen betrifft, auf die es uns hier hauptsächlich ankommen würde, so ist zunächst klar, dafs in einem solchen Falle die Hauptschwierigkeit sein mufs, die wechselnden perspectivischen Projectionen körperlicher Gegenstände kennen zu lernen. Denn der Blinde weifs natürlich gar nichts von der Möglichkeit einer solchen Projection. Aber einzelne Züge in dem Bericht zeigen, dafs die Dame auch solche Formen, die durch perspectivische Projection nicht entstellt waren, nicht zu erkennen wufste, wie zum Beispiel den Schlüssel und den Bleistifthalter. Ersterer mit Bart und Ring, von der Fläche gesehen, mufste auf der Netzhaut sich in derselben Gestalt darstellen, wie man ihn fühlt. Wenn also ein angeborenes Vermögen da wäre, die Formen der Netzhautbilder zu erkennen, im Sinne der nativistischen Theorie, so hätte der Schlüssel am Ringe und Barte erkannt werden müssen. Dazu kommt die mehrfach erwähnte Unfähigkeit, den Ort eines indirect gesehenen Objectes mit dem Blicke und der Hand zu finden. Wären die Richtungen der Verbindungslinien zwischen dem centralen und einem seitlichen Bilde der Netzhaut schon durch angeborene Anschauung bekannt, so könnte es keine grofse Schwierigkeit gemacht haben, den Blick längs der Verbindungslinie, der Reihe der auf dieser liegenden Bilder folgend, nach dem gewünschten Punkte hinzuführen. 593

Es scheint mir dagegen nicht zu streiten, dafs dieselbe Dame am achtzehnten Tage nach der Operation einfache Formen zu unterscheiden wufste. Wenn man den Blick längs des Umfanges eines Kreises, eines länglichen Rechtecks, eines Quadrates laufen läfst, wird man unter ähnlichen Umständen wohl bald fähig sein, ein geradliniges Begrenzungsstück von einem krummlinigen zu unterscheiden, eine Ecke als solche zu erkennen, zu wissen, ob man den Blick hauptsächlich von oben nach unten, oder von rechts nach links laufen läfst, u. s. w.; was zur Erkennung der genannten Figuren genügen würde. Es ist hierbei nur nöthig, den Blick längs einer continuirlich fortlaufenden Umfangslinie fortzuführen, was natürlich leichter ist, als ihn nach einem entfernten Object im Seitentheil des Gesichtsfeldes hinzuleiten. Auch das Erkennen der Nase, als eines Vorsprunges an dem röthlichen Fleck, den das Gesicht ihres Bruders im Gesichtsfeld bildete, läfst sich auf diese Weise erklären. Die Uhr, die sie am ersten Abend untersuchte, hatte sie in der Hand und erkannte sie also durch das Getast; die Ziffern und Zeiger hat sie nicht als solche bezeichnet, sondern nur bemerkt, dafs sie markirte Stellen für das Gesicht seien, während der tastende Finger durch das Uhrglas hindurch nichts davon erkennen konnte. Diese Theile zu zeigen, war ihr möglich, indem sie das Bild ihres Fingers, was sie schon kannte, bis zu dem Bilde der genannten dunklen Objecte heranbewegte.

Andererseits scheint mir die Geschwindigkeit, mit der die Patientin einige Dinge sehen lernte, doch zu groß gewesen zu sein, um zu der Annahme zu stimmen, die Localzeichen der Netzhautpunkte seien discontinuirliche und ungeordnete Zeichen, für welche erst aus Erfahrung gelernt werden müßte, welche Localzeichen benachbarten Netzhautpunkten angehören. Wenn die Localzeichen aber selbst continuirlich über das Feld der Netzhaut veränderliche Größen sind, so würden von vorn herein, ohne Erfahrung, benachbarte Netzhautpunkte in der Empfindung als benachbart charakterisirt sein. Nur im letzteren Fall kann der Eindruck eines beleuchteten Flächenstücks der Netzhaut gleich als Beleuchtung einer zusammenhängenden Fläche im Sehfelde aufgefaßt werden, ohne dafs vorausgehende Erfahrung lehrt, dafs die Localzeichen der erregten Netzhautfasern zusammenliegenden Faserenden und nicht punktförmig im Felde verstreuten angehören.¹

594 Geschichtliches. Die Frage, ob die Kenntniß der Ausmessungen des Gesichtsfeldes angeboren sei oder erworben, wurde von den Sensualisten des vorigen Jahrhunderts eifrig discutirt. MOLYNEUX warf die Frage auf, ob ein Blindgeborener, der durch das Gefühl einen Würfel von einer Kugel zu unterscheiden gelernt hätte, sie auch sogleich durch das Gesicht unterscheiden würde, wenn er dieses erlangte. MOLYNEUX und LOCKE² antworteten beide mit Nein. JURIN³ schloß sich dem an, bemerkte nur dabei, dafs, wenn der Blindgeborene Würfel und Kugel von verschiedenen Richtungen betrachten dürfte, die letztere ihm immer dieselben, ersterer verschiedene Bilder geben und er sie daran zu unterscheiden vermögen würde. Diese Ansicht, wonach alle Kenntniß der Form in den Gesichtswahrnehmungen auf Erfahrung und Vergleichung mit dem Tastsinn beruhe, blieb während des vorigen Jahrhunderts wohl die herrschende, so weit man überhaupt dieser Frage Aufmerksamkeit zuwandte, bis unter dem Einfluß der KANT'schen Lehre, dafs der Raum eine angeborene Form unserer Anschauung sei, JOHANNES MÜLLER⁴ die entgegengesetzte Ansicht aufstellte. Nach ihm beruht Fühlen und Sehen auf denselben Grundanschauungen von der Ausbreitung unserer eigenen Organe im Raume. Er geht also aus von der Annahme, dafs wir eine angeborene Kenntniß der räumlichen Dimensionen der empfindenden Theile der Netzhaut und ihrer Anordnung von vornherein mitbringen, und dafs dadurch die ursprünglichen Ausmessungen des gesehenen flächenhaften Bildes unmittelbar in der Empfindung gegeben sind. Nur das nach aufsen Sehen, die Beurtheilung der Entfernung, der Körperform der Objecte sind ihm durch Erfahrung gegeben. Nach aufsen sehen, heißt nach J. MÜLLER die Gegenstände als aufserhalb unseres Körpers anschauen. Nun sehen wir fortdauernd oder immer wiederkehrend Theile unseres Körpers auf dem Felde unserer Netzhaut abgebildet, und erkennen sie als uns zugehörig, durch unsern Willen unmittelbar beweglich an. Das Andere, was wir sehen, wechselt, und wir sehen es also als nicht zugehörig oder äußerlich unserem Körper. Dann lernen wir später die zwei Localisationen durch den Tastsinn der Haut und durch das Sehen mit der Netzhaut in der Vorstellung vereinigen. Doch erkennt J. MÜLLER an, dafs dies wunderbar scheinen

¹ Andere Fälle: GRANT in *Voigt's Magaz.* IV. 1. S. 21. HOFBAUER, *Beiträge*, II. 2. S. 249. WARE, *Phil. Trans.* 1801, p. 332. HOME, *Phil. Trans.*, 1807, I. p. 834. *Bibl. Britann.* XXXVII. p. 85. Jahr 1808. TRINCHINETTI in *Arch. des sc. phys. et nat. de Genève*, VI. 336. *Giorn. d. ist. Lomb.* 1847, fasc. 46 e 47.

² LOCKE, *Essay concerning human understanding*. Bd. II. Ch. 9, § 8. Siehe auch BERKELEY, *New Theory of vision* 1709, Section 79.

³ SMITH, *Opticks. Remarks*, p. 27. Ebenso PRIESTLEY, *Geschichte der Optik*, II. 512 der deutschen Uebersetzung.

⁴ J. MÜLLER, *Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns*. Leipzig 1826. — J. MÜLLER, *Handbuch der Physiologie des Menschen*. Coblenz 1840. Bd. II, S. 362.

müsse, nämlich vom Standpunkte seiner Theorie aus; er vergleicht es mit den Wahrnehmungen, welche durch gleichzeitige Wirkung des Tastgefühls und durch Betrachten eines Spiegelbildes unseres Körpers (z. B. beim Rasiren) zu Stande kommen können. Was das Problem des Aufrechtsehens trotz der umgekehrten Lage der Netzhautbilder betrifft, so erscheint uns nach MÜLLER wirklich alles verkehrt, und nur weil unser eigener Körper und die durch den Tastsinn an ihm markirten Stellen uns alle auch verkehrt erscheinen, tritt kein Widerspruch ein. Eigentlich werden also nach dieser Ansicht nicht die Bilder in den äußern Raum durch unser Vorstellen projicirt, sondern der Anschauungsraum ist ein innerer, in den die anderweitigen Wahrnehmungen der Dinge hineingetragen werden. Consequenter noch hat UEBERWEG¹ diese Seite der MÜLLER'schen Theorie dargestellt, während HERING² diesen Anschauungsraum zu einem Raum von drei Dimensionen macht und eigenthümliche Hypothesen hinzugefügt hat, um die dritte Dimension desselben durch die Anschauung entstehen zu lassen, von denen erst in den folgenden Abschnitten die Rede sein kann. Der Letztgenannte hält auch in dem Abschnitt über einäugige Stereoskopie durchaus die Ansicht fest, daß die Netzhaut sich so vollständig in ihrer Räumlichkeit anschauet, daß sogar die Distanzen der Punkte auf ihr nach der geradlinigen Sehne, statt nach dem Bogen geschätzt werden, eine Ansicht, deren Unbrauchbarkeit zur Erklärung der Gesichtstäuschungen, die sie erklären soll, wir schon oben berührt haben, und die in directem Widerspruche zu stehen scheint mit der in § 118 und 124 desselben Werks gemachten Annahme, wonach eine Ebene der scheinbare Ort der von beiden Netzhäuten übereinstimmend und identisch gesehenen Punkte sein soll.

Eine unmittelbare Kenntniß der Distanzen auf der Netzhaut als Grund der Vertheilung der gesehenen Punkte im Sehfeld liegt auch denjenigen Ansichten zu Grunde, welche eine unmittelbar angeborene Projection der Bilder in Richtung bestimmter Linien nach außen annehmen. PORTERFIELD³ und BARTELS⁴ ließen diese Projection nach den Normalen der Netzhäute geschehen, VOLKMANN⁵ nach den Richtungslinien, das heißt den Linien, die durch die hintern Knotenpunkte gehen. In beiden Ansichten ist also wenigstens die Schätzung der Winkeldistanzen im Sehfelde durch angeborene Momente gegeben; ähnlich TOURTUAL⁶ VOLKMANN hat dann später seine Ansicht noch näher dahin specificirt, daß er glaubt, die scheinbare Größe der Gesichtswinkel im Sehfelde hänge ab von der Zahl der einzelnen empfindlichen Nerven-elemente, welche auf der entsprechenden Strecke der Netzhaut lägen.⁷ Diese Ansicht von VOLKMANN liegt sehr vielen neueren Arbeiten über Physiologie des Auges zu Grunde; so benutzt sie unter andern namentlich auch RECKLINGHAUSEN,⁸ um die Erklärung für die Abweichung des scheinbar verticalen Meridians und andere optische Täuschungen zu geben, indem er die Möglichkeit entsprechender Verziehungen des Netzhautbildes nachzuweisen sucht.

Die Rückkehr der Physiologen zu der älteren entgegenstehenden Ansicht, wonach alle Beurtheilung des Räumlichen auf Erfahrungen beruhe, findet ihr Vorspiel auf philosophischer Seite in den Ansichten von HERBART über die Sinneswahr-

¹ UEBERWEG, *Zeitschrift für rationelle Medicin*. R. 3, Bd. V, S. 268—282.

² E. HERING, *Beiträge zur Physiologie*. Leipzig 1864.

³ PORTERFIELD, *On the eye*, II, 285.

⁴ BARTELS, *Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinns*. Berlin 1834.

⁵ A. W. VOLKMANN, *Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinnes*. Leipzig 1836.

⁶ TOURTUAL, *Die Sinne des Menschen*. Münster 1827.

⁷ A. W. VOLKMANN, *Berichte der Kön. Sächs. Ges. der Wissenschaften*. 30. April 1853.

⁸ RECKLINGHAUSEN, *Archiv für Ophthalmologie*, V, 2, S. 127. — *Poggendorff's Annalen*. CX, 65—92.

nehmungen. Es war sein metaphysisches Princip von der Einheit der Seele, welches ihn veranlafte, alle Vorstellungen für qualitative und zeitlich einander folgende, nicht neben einander bestehende Processe zu erklären. Daher mußte er alle Raumanschauung von der Bewegung herleiten und die localen Unterschiede der Empfindung mußten qualitative sein. LOTZE war es namentlich, der diese Ansichten auf die factischen Verhältnisse bei den sinnlichen Wahrnehmungen zu übertragen suchte, und an den sich physiologischerseits zunächst MEISSNER¹ und CZERMAK² in ihren Untersuchungen über den Tastsinn angeschlossen. In der physiologischen Optik wurde die Aufmerksamkeit zunächst durch das Studium der Bewegungen des Auges wieder in diese Richtung gelenkt. Einer der ersten Schritte war die von BRÜCKE aufgestellte und in den folgenden Abschnitten zu besprechende Ansicht über den Einfluß der Bewegungen beim stereoskopischen Sehen. Ich selbst habe in einem populären Vortrage³ die Sache von dieser Seite dargestellt. W. WUNDT⁴ hat das Verdienst, den ersten vollständigeren Versuch gemacht zu haben, die Bildung des Sehfeldes aus den Bewegungserfahrungen herzuleiten, eine Aufgabe, deren Existenz und Wichtigkeit so gut wie ganz vergessen war. Er betrachtet darin als Localzeichen die qualitativen Veränderungen der Empfindung auf verschiedenen Stellen der Netzhaut, die von PURKINJE, AUBERT und SCHELSKE beobachtet waren und oben S. 372—374 erwähnt wurden. Ich habe diese Annahme in der oben gegebenen Darstellung nicht benutzt, weil ich nicht sehe, wie der Eindruck zum Beispiel von Schwarz in der Mitte des Feldes von Roth auf dem Randtheil local unterschieden werden kann, wenn kein anderes Erkennungszeichen für den localen Unterschied da ist, als der qualitative Unterschied, wonach Roth in der Mitte roth, am Rande des Sehfeldes schwarz erscheint. Die Beurtheilung der Distanzen im Sehfelde leitet WUNDT ab von dem Gefühl der Muskelanstrengung, welche nöthig sei, um sie mit dem Blicke zu durchlaufen. Da die Erfahrung lehrt, daß das Urtheil über die

596 Muskelanstrengungen einige Sicherheit nur hat, wenn fortdauernd die Wirkungen derselben mit den Gesichtsbildern verglichen werden, so bin ich von den möglichen Erfahrungen über die Congruenz gleicher Strecken von correspondirender Richtung ausgegangen, welche Annahme, wie mir scheint, wesentlich bestätigt wird durch die Erfahrung, daß Strecken von übereinstimmender Richtung genau und sicher verglichen werden, solche von nicht übereinstimmender Richtung nicht. Dadurch wird freilich nicht ausgeschlossen, daß nicht auch das von WUNDT in Anspruch genommene Gefühl der Muskelanstrengung mitbenutzt werde.

Die Untersuchungen über die Genauigkeit des Augenmaafses wurden zunächst veranlaßt durch E. H. WEBER'S⁵ Gesetz, welches später von FECHNER⁶ als psychophysisches Gesetz bezeichnet worden ist und wonach die kleinsten empfindbaren Unterschiede proportional der ganzen empfundenen Größe sind. Außer den beiden Genannten hat namentlich auch VOLKMANN⁷ eine große Reihe sorgfältiger Mes-

¹ G. MEISSNER, *Beiträge zur Anatomie und Physiologie der Haut*. Leipzig 1852. — *Zeitschrift für rationelle Medicin*. R. 2. Bd. IV. S. 260.

² CZERMAK, *Sitzungsberichte der K. K. Akademie der Wiss. zu Wien* 1855. XV. 466 u. XVII. 577. — *Moleschott's Untersuchungen zur Naturlehre des Menschen*. I. 183.

³ H. HELMHOLTZ, *Ueber das Sehen des Menschen*. Leipzig 1855.

⁴ W. WUNDT, *Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung*. Leipzig u. Heidelberg 1862. *Abdrücke aus Zeitschr. für rat. Medicin* 1858—1862.

⁵ E. H. WEBER, *Über den Tastsinn und das Gemeingefühl*, S. 559 in *Wagner's physiologischem Wörterbuch*. — *Programmata collecta*, Fasc. III. 1851. — E. H. WEBER, *Berichte der sächs. Societät* 1852, S. 85 ff.

⁶ TH. FECHNER, *Elemente der Psychophysik*. Leipzig 1860. Bd. I, S. 211—236.

⁷ A. W. VOLKMANN, *Berichte der Sächsischen Soc.* 1858, p. 140. — *Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik*. Leipzig 1863. Heft I, S. 117—139.

sungen angestellt. Den Einfluss der Zeit, welche zwischen zwei solchen Vergleichen verstreicht, hat F. HEGELMAYER¹ untersucht.

Den constanten Fehler in der Vergleichung horizontaler und verticaler Distanzen hat A. FICK zuerst bemerkt,² die constante Abweichung des scheinbar verticalen Meridians RECKLINGHAUSEN,³ letzterer auch die scheinbare Krümmung der geraden Linie in den peripherischen Theilen des Sehfeldes, die Gesichtstäuschungen an Linienmustern ZOELLNER,⁴ dessen Entdeckung dann von HERING,⁵ A. KUNDT⁶ und AUBERT⁷ weiter verfolgt wurde.

Die ältere Geschichte und Literatur der Untersuchungen über den blinden Fleck, wobei es sich hauptsächlich um den Nachweis der Thatsache und um die physiologische Erklärung der Blindheit handelt, ist auf S. 273—274 gegeben. Die Untersuchungen über die Art der Ausfüllung der Lücke in der Vorstellung beginnen mit E. H. WEBER'S⁸ Untersuchungen, denen sich A. FICK und P. DU BOIS-REYMOND⁹ und VOLKMANN¹⁰ anschlossen, die fast ausschließlich richtige Localisation der rings um den Fleck gesehenen Objecte beobachteten und die Ausfüllung der Lücke psychologisch erklärten. Dagegen trat WITTICH¹¹ auf mit der Beobachtung falscher Localisationen, während FUNCKE¹² auf die Möglichkeit und das Vorkommen von individuellen Unterschieden in dieser Beziehung aufmerksam machte.

§ 29. Die Richtung des Sehens.

Die bisherigen Thatsachen bezogen sich nur auf die relative Lage der 598 verschiedenen leuchtenden Punkte neben einander im Gesichtsfeld. Wir müssen nun noch über die Beurtheilung ihrer absoluten Richtung sprechen. Dabei ist zunächst zweierlei zu unterscheiden. Im Allgemeinen ist die Richtung einer Linie gegeben durch zwei Winkel, die sie mit den Richtungen passend gewählter fester Axen oder Ebenen bildet, ohne dass wir dabei festsetzen, dass die Linie durch einen bestimmten Punkt gehen solle. Wir schreiben allen mit jener ersten Linie parallelen Linien die gleiche Richtung zu. So haben zum Beispiel alle Magnetnadeln, die innerhalb einer Stadt aufgehängt sind, die gleiche Richtung von Süden nach Norden. Etwas Anderes ist es, wenn wir die Richtung nicht nur im Allgemeinen gegen ein bestimmtes Coordinatensystem, wie es im Gebiete einer Stadt etwa die Lothlinie, die Niveauebene und in dieser der terrestrische Meridian darstellen, geben, sondern wenn wir die Richtungen alle auf einen bestimmten Mittelpunkt beziehen wollen. Dann sind die Richtungen darzustellen durch

¹ F. HEGELMAYER, *Vierordt's Archiv* XI, S. 844—853.

² A. FICK, De errore quodam optico asymmetria bulbi effecto. Marburg 1851. Auszug in *Zeitschrift für rationelle Medicin.* R. 2. Bd. II, S. 83.

³ In den oben citirten Aufsätzen.

⁴ ZOELLNER, *Poggendorff's Annalen* CX, S. 500—523.

⁵ E. HERING, *Beiträge zur Physiologie.* Leipzig 1861. Heft I, S. 65—80.

⁶ A. KUNDT, *Poggendorff's Annalen* CXX, S. 118.

⁷ H. AUBERT, *Physiologie der Netzhaut.* Breslau 1865. S. 269—271.

⁸ E. H. WEBER, Ueber den Raumsinn und die Empfindungskreise in der Haut und im Auge. *Verh. der Sächsischen Ges.* 1852. S. 138.

⁹ Müller's *Archiv für Anat.* 1853. S. 396.

¹⁰ A. W. VOLKMANN, *Berichte der Königl. Sächs. Ges.* 30. April 1853. S. 40.

¹¹ V. WITTICH, *Archiv für Ophthalmologie.* IX. 3. 1863. S. 1—31.

¹² FUNCKE, *Berichte der Naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg i. Br.* Bd. III, Heft 3, S. 12 u. 13.

ganz bestimmte gerade Linien, die durch den gewählten Mittelpunkt hindurchgehen, und deren Richtung außerdem durch zwei Winkel zu bestimmen ist, die sie mit passend gewählten festen Axen machen. In diesem Falle kann die Richtung nicht bezeichnet werden durch eine andere parallele Linie, die die gleiche Richtung hat, sondern sie muß dieselbe oder identische Richtung haben, das heißt, wenn hinreichend verlängert, mit der ersten Linie vollständig zusammenfallen.

So lange man nur von Gleichheit der Richtungen spricht, sind also nur Winkel zu bestimmen, welche die Richtung definiren; wenn man von Identität der Richtungen spricht, ist auch der Punkt zu bestimmen, welcher als Mittelpunkt gelten soll. Wir können sagen, daß wir im ersteren Falle nur die Richtung bestimmen, im letzteren Falle eine bestimmte Richtungslinie.

Wenn wir nun von den Richtungen des Sehens sprechen, so beziehen wir diese allerdings auf einen Mittelpunkt, nämlich auf uns selbst und unseren Standpunkt im Raume. Indessen giebt es eine Reihe von Erscheinungen, welche unabhängig sind von der Bestimmung des Mittelpunkts der Richtungslinien. Es sind dies namentlich alle diejenigen, welche beim Sehen entfernter Objecte eintreten können, der Sterne zum Beispiel oder auch weit entfernter Berge und Gebäude. Denn solche Objecte sind 599 nothwendig auch groß, und jede Richtungslinie, die durch irgend einen Punkt unseres Kopfes oder auch unseres Körpers geht, parallel einer bestimmten Richtung, wird das Object treffen.

Die Richtung, in der die Objecte des Sehfeldes liegen, wird im Allgemeinen, abgesehen von den schon bisher besprochenen Täuschungen, bestimmt sein, sobald erstens die Richtung der Blicklinie und zweitens die Richtung irgend eines durch den Blickpunkt gehenden Meridians gegeben ist.

Die Richtung, in welcher der Blickpunkt liegt, wechselt mit der Stellung des Auges gegen den Kopf, beziehlich gegen den Körper; indessen sind wir im Allgemeinen im Stande, die jedesmalige Richtung der Blicklinie richtig zu beurtheilen. Man hat die Empfindungen, auf denen die Wahrnehmung der durch Muskelwirkung veränderten Stellung der Theile unseres Körpers beruht, das Muskelgefühl genannt. Unter diesem Ausdruck sind aber mehrere wesentlich verschiedene Empfindungen von einander zu trennen. Wir können nämlich wahrnehmen

1. die Intensität unserer Willensanstrengung, durch welche wir die Muskeln in Wirksamkeit zu setzen suchen;
2. die Spannung der Muskeln, also die Kraft, mit der diese zu wirken streben;
3. den Erfolg der Anstrengung, der, abgesehen von seiner Wahrnehmung durch andere Sinnesorgane, namentlich Gesicht und Getast, am Muskel sich äußert durch wirklich eintretende Verkürzung, wobei auch an den Gliedern veränderte Spannung der sie bedeckenden Haut möglicher Weise wahrgenommen werden kann.

Ich kann bei sehr ermüdeten Muskeln zum Beispiel im Stande sein, wahrzunehmen, daß ich den äußersten Grad von Willensanstrengung anbiete, um die Muskeln in Spannung zu versetzen, daß aber deren Spannung nicht mehr genügend ist, den Erfolg zu erreichen. Andererseits kann ich bei kräftigen Muskeln durch eine mäßige Willensanstrengung eine deutlich fühlbare Spannung der Muskeln hervorbringen, ohne doch wegen irgend eines äußeren Widerstandes den Erfolg zu erreichen, den ich wünsche. Alle diese Fälle unterscheiden sich in meiner Wahrnehmung von dem Falle, wo ich den Erfolg wirklich erreiche, und wir müssen diese verschiedenen Umstände auch in der Theorie des Muskelgeföhls unterscheiden.

Wir beschränken uns in der vorliegenden Untersuchung natürlich auf die beim Auge vorkommenden Verhältnisse.

Zunächst zeigen bekannte Erfahrungen, daß wir die Richtung unseres Blicks nicht nach der wirklich vorhandenen Stellung unseres Auges beurtheilen, wenn dieselbe durch andere Kräfte als die unserer Muskeln verändert ist. Wenn man auf den von den Lidern bedeckten Theil des Augapfels drückt, oder die den Augapfel umgebende Haut zerrt, so werden dadurch kleine Aenderungen in der Stellung des Augapfels selbst hervor gebracht. Am besten gelingt dies dadurch, daß man am äußeren Augenwinkel eine Hautfalte zusammenkneift und dann das Auge nach innen wendet, so daß die den Augapfel bedeckende Bindehaut an der äußeren Seite gespannt wird. Oeffnet man beide Augen, indem man an der Hautfalte zerrt, so erhält man Doppelbilder, indem das Bild des gezerzten Auges nach einer anderen Richtung hin verlegt wird, als das Bild des andern, und öffnet man nur das erstere Auge, so sieht man bei jedem Zuge an der Hautfalte eine Scheinbewegung der Gegenstände im Gesichtsfelde eintreten. Jeder gerade nach aufsen am rechten Auge gerichtete Zug läßt die Gegenstände scheinbar nach links hin weichen. Die Richtung der Gesichtslinie wird hierbei nach rechts hin verschoben; wir beurtheilen aber die Lage der Gegenstände so, als wenn durch die Zerrung die Richtung der Gesichtslinie unverändert bliebe.

Dem entsprechend zeigt sich, daß die Lage der Nachbilder, im geschlossenen Auge oder auf einen gleichmäßigen unbegrenzten Schirm projicirt, bei der Zerrung scheinbar unverändert bleibt, während diese Bilder wirklich mit dem Auge bewegt werden.

Dagegen läßt auch während einer solchen Zerrung jede durch die Muskeln hervorgebrachte Bewegung der Augen die scheinbare Lage der äußeren Gegenstände unverändert, während die Nachbilder sich scheinbar bewegen.

Wenn wir so durch einen äußerlichen Zug den Augapfel nach aufsen rollen, wird natürlich der innere gerade Muskel desselben um ebenso viel gedehnt und der äußere um ebenso viel kürzer, als wenn eine solche Rollung durch Muskelwirkung geschieht. Denn die Muskeln sind auch im ruhenden Zustande elastische Bänder, welche sich stets so weit verkürzen, als es die Lage ihrer Befestigungspunkte erlaubt.

Wir beurtheilen also die Richtung unserer Gesichtslinie weder nach der wirklichen Stellung des Augapfels, noch nach der von ihm abhängigen wirklichen Verlängerung oder Verkürzung der Augenmuskeln.

Dafs wir die Richtung der Gesichtslinie auch nicht nach der Spannung der Augenmuskeln beurtheilen, geht daraus hervor, dafs in solchen Fällen, wo Lähmungen einzelner Augenmuskeln plötzlich eingetreten sind, die Patienten, wenn sie ihr Auge nach einer Richtung zu bewegen streben, nach der sie es nicht mehr bewegen können, Scheinbewegungen sehen, die bei gleichzeitig geöffnetem anderen Auge Doppelbilder hervorbringen. Wenn also zum Beispiel der äufsere gerade Muskel des rechten Auges oder sein Nerv gelähmt ist, so kann das Auge nicht mehr nach der rechten Seite herübergezogen werden. So lange der Patient es nur nach der inneren Seite wendet, macht es noch regelmässige Bewegungen, und er nimmt die Richtung der Objecte im Gesichtsfeld richtig wahr. Sobald er versucht es nach ausen, also nach rechts hin zu wenden, folgt es seinem Willen nicht mehr, sondern bleibt in der Mitte stehen und die Objecte bewegen sich scheinbar nach rechts, obgleich die Stellung des Auges und der Netzhautbilder im Auge unverändert bleibt.

In einem solchen Falle eines gelähmten Muskels tritt in Folge der Willensanstrengung weder Bewegung des Auges, noch Verkürzung der zu verkürzenden Muskeln, noch auch erhöhte Spannung in diesen Muskeln ein. Der Willensact hat aufserhalb des Nervensystems gar keine Folgen mehr und doch urtheilen wir über die Richtung der Gesichtslinie so, als hätte der Wille die normalen Wirkungen ausgeübt; wir glauben, dafs die Gesichtslinie sich in dem letztgenannten Falle nach rechts verschoben habe, und da die Lage der Netzhautbilder auf der Netzhaut des gelähmten Auges hierbei unverändert bleibt, erscheint uns das so, als machten die Objecte die irrtümlich vorausgesetzte Bewegung des Augapfels mit.

Ist die Lähmung nicht vollständig, so dafs das Auge zwar noch ein nach ausen liegendes Object fixiren kann, dazu aber einen gröfseren Aufwand von Innervation des gelähmten Muskels bedarf, als im normalen Zustande, so tritt doch eine falsche Vorstellung von der Richtung der Gesichtslinie und von der Lage des Objectes ein, wie man dadurch erkennen kann, dafs man den Patienten schnell nach dem Objecte greifen läfst. Er greift dann zuerst daneben.¹

Diese Erscheinungen lassen keinen Zweifel darüber, dafs wir die Richtung der Gesichtslinie nur beurtheilen nach der Willensanstrengung, mittels der wir die Stellung der Augen zu ändern suchen. Es giebt zwar auch gewisse schwache Empfindungen in unseren Augenlidern, wenn sich die Hornhaut unter ihnen verschiebt, welche uns über die wirkliche Stellung des Auges einigermaafsen unterrichten könnten, und ferner fühlen wir bei angestregten

¹ A. v. GRAEFE im *Archiv für Ophthalmologie*, Bd. I. Abth. I, S. 67. Anmerkung. — A. NAGEL, *Das Sehen mit zwei Augen*, 1861, S. 124—129. ALFRED GRAEFE im *Archiv für Ophthalmologie*, XI. 2. S. 6—16.

Seitenbewegungen der Augen eine ermüdende Spannung in den Muskeln, aber alle diese Empfindungen scheinen zu schwach und zu unbestimmt zu sein, als daß sie für die Wahrnehmung der Richtung verwerthet werden könnten.

Wir wissen also, welche Willensimpulse und wie stark wir sie anzuwenden haben, um das Auge in eine bestimmte beabsichtigte Stellung zu versetzen. Da unter den gewöhnlichen normalen Umständen sich der Bewegung des Auges keine fremden Hindernisse entgegensetzen, so kann auch meistens aus der Stärke des Willensimpulses der Effect genügend beurtheilt werden, viel vollständiger wenigstens, als dies bei den Extremitäten und den meisten andern beweglichen Theilen des Körpers möglich sein würde. Die einzige Wirkung des Willensimpulses, die wir am Auge direct und hinreichend deutlich wahrnehmen, ist die veränderte Lagerung der Objecte im Sehfeld bei der neuen Stellung des Auges. Es läßt sich nun zeigen, daß wir in der That diese Veränderungen des Bildes fortdauernd als Controlle für das richtige Verhältniß der Willensimpulse zu ihrem Effecte benutzen.

Man setze sich zwei Glasprismen von 16 bis 18 Grad brechenden Winkels in ein Brillengestell zusammen, so daß die brechenden Winkel beider nach links gekehrt sind. Die Gegenstände des Gesichtsfeldes erscheinen durch diese Prismen alle nach links von ihrem wirklichen Orte abgelenkt. Man vermeide es zunächst, die Hand in das Gesichtsfeld zu bringen, betrachte sich irgend ein bestimmtes erreichbares Object genau, schliesse dann die Augen und versuche mit geschlossenen Augen das Object mit dem Zeigefinger zu treffen; man wird natürlich links daneben vorbeifahren. Wenn man aber diese Versuche eine Weile fortgesetzt hat, oder noch schneller, wenn man die Hand in das Gesichtsfeld bringt und mit ihr kurze Zeit hindurch unter Leitung des Auges die Objecte betastet, so wird man finden, daß man bei Wiederholung des erst beschriebenen Versuchs nicht mehr vorbeifährt, sondern die Objecte richtig trifft; ebenso auch neue Objecte, die man an Stelle der schon bekannten bringt. Hat man dies erreicht und versucht man nun, nachdem man die Hand aus dem Gesichtsfelde entfernt, die Prismen weggenommen und irgend ein Object angeblickt hat, dies bei geschlossenen Augen zu greifen, so wird man finden, daß man jetzt mit der Hand rechts vorbeifährt, bis durch mehrere vergebliche Versuche die Beurtheilung der Richtung, in der die Augen stehen, wieder berichtigt ist.¹

Daß hierbei nicht etwa das Muskelgefühl der Hand und die Beurtheilung von deren Ort, sondern die Beurtheilung der Blickrichtung gefälscht wird, ergibt sich daraus, daß, wenn man, durch die Prismen blickend, sich gewöhnt hat, mit der rechten Hand die gesehenen Objecte zu treffen, und man die mit der rechten Hand berührten Objecte nun bei geschlossenen Augen mit der linken, vorher gar nicht benutzten und nicht im Gesichtsfelde gewesenen Hand zu treffen sucht, man sie ganz sicher und richtig trifft.

¹ Der Versuch ist von CZERMAK im Wesentlichen ähnlich angegeben in *Wien. Berichte*. XVII, 575—577.

Man bestimmt also in einem solchen Falle durch das Tastgefühl den Ort vollkommen richtig und weiß ihn nach dieser Angabe durch ein anderes tastendes Organ sicher zu finden.

Dafs vierteljährige Kinder erst sehr langsam lernen ihre Hände nach Gesichtsubjecten hin zu dirigiren, wenn sie schon sehr gut wissen, sie nach dem Munde oder nach einer juckenden Hautstelle, also mittels Tastempfindungen, zu lenken, lehrt die Erfahrung. Wie also hier die Uebereinstimmung zwischen Augenbewegungen und Handbewegungen erst durch Versuche gelernt wird, so muß ihre Genauigkeit auch bei Erwachsenen durch immer erneute Versuche und Beobachtungen fortwährend controllirt werden.

Ich habe schon früher angeführt, dafs die Uebereinstimmung der Bewegungen beider Augen in ähnlicher Weise gestört werden kann, wenn man durch ein Prisma das Bild des einen Sehfeldes allmählich in die Höhe schiebt; dann folgt das betreffende Auge, und beide Augen fahren fort einfach zu sehen, während das eine etwas mehr nach oben gerichtet ist als das andere. Auch hier kommt es schnell zur Gewöhnung, diese Stellung als die normale Fixationsstellung zu benutzen; und wenn man die Prismen fortnimmt, fährt man fort in derselben Weise zu fixiren, wobei man über einander stehende Doppelbilder der Objecte erhält, die sich erst bei einer Aenderung der Augenstellung schnell wieder vereinigen. Es zeigt sich hierbei, dafs auch die übereinstimmende Stellung beider Augen nach dem Erfolg geregelt wird, indem man sich gewöhnt, solche Willensimpulse zu geben, welche geeignet sind, unter den obwaltenden Umständen beide Fixationspunkte auf dasselbe Object zu richten.

Es gehört hierher ferner die Erfahrung, dafs, wenn man bewegte Objecte längere Zeit zu fixiren bemüht gewesen ist, nachher ruhende Objecte in der entgegengesetzten Richtung bewegt erscheinen. Man bezeichnet das Sehen dieser Scheinbewegungen als Schwindel. Wenn man zum Beispiel in einem Eisenbahnzug fährt und eine Weile nach den draussen dicht an der Bahn befindlichen Gegenständen geblickt hat, dann aber den Blick auf den Fußboden des Wagens wirft, so erscheint dieser, der sich zum Körper des Reisenden in relativer Ruhe befindet, in Richtung des Zuges von ihm fort zu fliehen.

Es erklärt sich dies daraus, dafs die Gegenstände an der Bahn eine scheinbare, der des Zuges entgegengesetzte Bewegung haben. So oft der Reisende einen derselben zu fixiren sucht, muß er seine Augen schnell der Richtung des Zuges entgegen bewegen. Nachdem er sich gewöhnt hat, die unter diesen Umständen ausgeübten Willensimpulse als die für die Fixation eines Objects geeigneten zu betrachten, versucht er in derselben Weise auch ruhende Objecte zu fixiren. Die genannten Willensimpulse bringen aber Bewegungen der Augen hervor, und da der Beobachter seine Augen für festgestellt hält, so scheinen sich ihm nun die Objecte und zwar der vorher angeschauten objectiven Bewegung entgegengesetzt zu bewegen.

Wenn man dagegen, während man aus dem Wagen blickt, etwa ein

Pünktchen in der Fensterscheibe dauernd fixirt, so kommt der beschriebene Gesichtsschwindel nicht zu Stande, obgleich man wie vorher bewegte Objecte hat vorbeifliegen sehen, aber ohne die zu ihrer Fixation nöthigen Bewegungen zu machen. Bei ganz fester Fixation eines zum Auge relativ ruhenden Punktes verwischen sich übrigens auch die Bilder der bewegten Objecte vollständig bei der für diese Täuschung nöthigen Geschwindigkeit. Man kann diese nur erkennen, wenn man ihnen kurze Strecken mit den Augen folgt. Die dazu nöthigen Augenbewegungen bleiben meist unbewusst, und sie sind deshalb von PLATEAU¹ und OPPEL,² welche über diese Erscheinungen Beobachtungen angestellt haben, nicht bemerkt worden. Dafs aber solche Augenbewegungen vorhanden sind, folgt aus dem Umstand, dafs bei absolut fester Fixation die bewegten Bilder sich verwischen.

Dasselbe beobachtet man bei dem Drehschwindel, wenn man sich mit offenen Augen eine Weile um seine eigene Längsaxe gedreht hat. So wie man anhält, scheinen die Objecte sich noch eine Zeitlang in der Richtung fortzubewegen, in der man sich gedreht hat. Ich finde, dafs nach einer Drehung mit geschlossenen Augen diese Art der Scheinbewegung nicht eintritt, so bald man die Augen erst öffnet, wenn man wirklich bis zum festen Stehen gekommen ist. Thut man es früher, so tritt eine Scheinbewegung der Gegenstände entgegengesetzt der bisherigen Drehung des Körpers ein; aber man überzeugt sich auch leicht, dafs der Körper auf den Füfsen noch etwa eine Viertelkreisdrehung ausführt, ehe er wirklich zu Ruhe kommt, zu einer Zeit, wo man ihn schon für ruhend hält. Dann ist also eine Täuschung über die Haltung des Körpers Ursache der Scheinbewegung der Objecte. Zuweilen kommt übrigens auch diese der objectiven Drehung des Körpers entgegengesetzte Schwindelbewegung nach der Drehung mit offenen Augen zum Vorschein, wie denn überhaupt dieser Versuch nicht so rein ist wie die andern, bei denen der Körper des Beobachters nicht mitbewegt wird.

Es kommen auch solche Arten von Gesichtsschwindel vor, wo verschiedene Theile des bewegten Körpers verschieden gerichtete Bewegung gehabt haben. 604 Wenn man z. B. die in *Fig. 196*, S. 531 dargestellte Scheibe mit der Spirale rotiren läfst, so scheint die Spirale, je nach der Richtung ihrer Drehung, sich entweder fortdauernd auszudehnen oder zusammenzuziehen. Hält man die Scheibe plötzlich an, so scheint sie nachher sich einen Augenblick zusammenzuziehen, wenn sie sich vorher ausdehnte, oder auszudehnen, wenn sie sich vorher zusammenzog. Und auch andere Objecte, z. B. ein bedrucktes Blatt Papier, was man unmittelbar nach der Spirale betrachtet, zeigen eine solche Contractions- oder Dilatationsbewegung.

Viel weniger deutlich ist eine ähnliche Schwindelbewegung, die sich nach Anblick einer rotirenden sternförmigen Figur einstellt, und wobei der objectiv ruhende Körper, den man betrachtet, sich ein wenig in entgegengesetzter Richtung zu drehen scheint, als der Stern.

¹ PLATEAU in *Poggendorffs Annalen*, LXXX, 287. — *Bull. de Bruxelles* XVI.

² OPPEL ebenda, XCIX, 543.

Am deutlichsten werden diese letztern Scheinbewegungen, wenn man den Blick nach dem ruhenden Mittelpunkte der Axe richtet, dabei aber im indirecten Sehen auf die bewegte Figur achtet, welche nicht so schnell rotiren darf, dafs man ihre einzelnen Züge nicht mehr wahrzunehmen im Stande wäre, aber auch nicht so langsam, dafs man sie ganz ohne Schwierigkeit wahrnimmt. Wenn man ganz scharf den Mittelpunkt der Axe fixirt und nur auf diesen achtet, so hat man allerdings auf den Seitentheilen der Netzhaut, ebenso wie vorher, die bewegte Figur, aber die Schwindelbewegung tritt nicht ein. Es scheint mir daraus hervorzugehen, dafs bei diesem Achten auf die bewegte Figur leise Augenbewegungen im Spiele sind, wahrscheinlich kreisförmige Bewegungen, deren Richtung immer auf denjenigen Theil des Sehfeldes hinzielt, auf den die Aufmerksamkeit des indirecten Sehens gerade gerichtet ist. In der That würde ohne solche Bewegungen, die der bewegten Figur nachfolgen, die letztere nicht ganz so deutlich erscheinen können, als sie es bei derjenigen Art des Anblickens thut, die den Schwindel entwickelt. Wenn dieselbe Art des Blickens nachher auf einen ruhenden Gegenstand angewendet wird, mufs dieser natürlich eine entgegengesetzte Scheinbewegung zeigen.

So lange wir eine grofse Zahl ruhender Gesichtsubjecte vor uns haben, ist es leicht, an diesen fortdauernd sich über den Grad der Innervation zu vergewissern, der nöthig ist, um das Auge in bestimmten Stellungen festzuhalten. Wenn man dagegen überwiegend bewegte Massen vor sich hat, ist es schwer, das Urtheil über Ruhe und Bewegung richtig zu erhalten. Wenn man auf einem Balken über einen schnell fliefsenden Bach gehen will, mufs man vermeiden, nach dem Wasser zu sehen, um nicht das Gleichgewicht zu verlieren. Wenn man auf einem der unteren Gerüste des Schlosses Laufen an den Rheinfall herantritt und nichts vor sich sieht als die stürzende Wassermasse, so entsteht eine Neigung hintenüber zu fallen. Eben deshalb wird man auf Schiffen so verwirrt in der Orientirung; man fühlt den Zug der Schwere scheinbar bald nach rechts, bald nach links, bald nach vorn oder nach hinten gehend, weil man die Richtung der Verticale nicht mehr zu finden weifs. Nach längerer Gewöhnung erst lernt man, wie ich an mir selbst erfahren habe, die Schwerkraft als Orientierungsmittel brauchen, und dann hört auch der Schwindel auf. Dem Neuling scheint in der Cajüte eines Schiffs das in Cardanischer Aufhängung befestigte Barometer hin und her zu schwanken, welches in Wirklichkeit immer senkrecht hängt, die Cajüte dagegen festzustehen, während ihn selbst die Schwerkraft bald hier, bald dorthin zerrt. Sobald man den Schwindel verloren hat, sieht man das Barometer feststehen und die Cajüte schwanken. Wie sehr aber hierbei die Sicherheit der Innervation der Augenmuskeln zeitweilig leidet, zeigt sich daran, dafs Passagiere, die seekrank waren, sogar nachher am Lande, bei jeder schnellen Bewegung der Augen die Wände des Zimmers, in dem sie sich befinden, scheinbar dieselben Bewegungen ausführen sehen, welche die Cajüte des Schiffs zu machen pflegte.

Alle diese Erscheinungen lassen deutlich erkennen, daß eine fort-dauernde Controlle der für die Augenstellungen und Augenbewegungen nothwendigen Innervationsstärke durch die Beobachtung ihres Erfolgs an den Gesichtsbildern stattfinden muß, wenn richtige Urtheile über die Richtung der Gesichtslinie und der fixirten Gegenstände gefällt werden sollen.

Eine andere Art von Täuschung, die hierher gehört, hat F. ZÖLLNER¹ beschrieben. Man zeichne auf ein Blatt Papier einen Kreis und schneide in ein anderes dunkles und steifes Blatt einen Schlitz, der länger ist als der Durchmesser des Kreises und dessen Breite $\frac{1}{10}$ bis $\frac{3}{10}$ dieses Durchmessers beträgt. Man halte das Blatt mit dem Schlitz fest und schiebe unter ihm das Blatt mit dem Kreise hin und her, so daß der Kreis selbst hinter dem Schlitz sich vollständig vorbeischiebt, bald in der einen, bald in der anderen Richtung. Unter diesen Umständen erscheint der Kreis wie eine Ellipse, deren gröfsere Axe senkrecht zur Richtung der Bewegung gestellt ist. Der Grund davon ist darin zu suchen, daß der Beobachter, indem er die bewegte Figur zu sehen sich bestrebt, unwillkürlich und ohne es deutlich zu wissen, ihr mit den Augen folgt, aber mit geringerer Geschwindigkeit. Dadurch entstehen nach einander auf den verschiedenen Streifen der Netzhaut, auf denen der Spalt während dieser Bewegung sich abbildet, Eindrücke von dem gerade vorliegenden Stücke des Kreises gerade wie bei dem Anorthoskop, nur daß bei diesem der Spalt selbst bewegt, das Auge ruhig ist, während hier das Auge bewegt ist und der Spalt stillsteht. Der optische Eindruck ist hierbei derselbe, als ob der Spalt sich in entgegengesetzter Richtung wie das Auge bewegte, also auch entgegengesetzt dem bewegten Bilde, und dies giebt im Anorthoskop, wie oben S. 498—500 auseinandergesetzt ist, eine scheinbare Verkürzung der Figur nach der Richtung der Bewegung.

Daß Augenbewegungen der Grund dieser Täuschung sind, kann man daraus erkennen, daß man bei der Geschwindigkeit, welche die Täuschung am besten zeigt, überhaupt nichts mehr von der Figur erkennen kann, sobald man ganz fest einen Punkt am Rande des Spalts fixirt. Um die Figur erkennen zu können, muß man ihr eben mit dem Auge folgen. Außerdem kann ein zweiter Beobachter auch solche Augenbewegungen bemerken, wie ZÖLLNER gefunden hat.

Wenn man den Kreis sehr langsam hinter dem Spalte vorbeizieht, so 606 erscheint er im Gegentheil in Richtung der Bewegung verlängert zu sein. Das mag davon herrühren, daß die Theile der Begrenzungslinie, welche im Spalte erscheinen, wegen der scheinbaren Vergrößerung der spitzen Winkel steiler gegen die Seiten des Spaltes zu stehen scheinen, als sie wirklich sind. Dasselbe würde aber in Wirklichkeit der Fall sein, wenn eine quer verlängerte Ellipse hinter dem Spalt vorbeigezogen würde, daher der Beobachter denn die Figur als eine solche Ellipse deutet.

¹ F. ZÖLLNER, Ueber eine neue Art anorthoskopischer Zerrbilder in *Poggendorff's Annalen*, 1862.

Nachdem wir uns durch die vorher beschriebenen Thatsachen überzeugt haben, daß die Uebereinstimmung zwischen den Wahrnehmungen durch das Gesicht und denen des Tastsinns auch beim ausgebildeten Auge eines Erwachsenen dauernd nur durch die fortlaufende Vergleichung mit der Erfahrung erhalten wird, erledigt sich die so übermächtig viel behandelte Frage über den Grund, warum wir die Gesichtsobjecte aufrecht sehen trotz des verkehrten Netzhautbildes, ganz von selbst. Der Tastsinn an und für sich ist fähig, vollständige Raumanschauungen auszubilden, selbst ohne alle Hilfe durch den Gesichtssinn; wir wissen dies durch die Erfahrungen an blindgeborenen Personen. Ja, die Richtung der Schwere, welche das Oben und Unten bestimmt, wird sogar ausschließlich durch den Tastsinn und nicht durch den Gesichtssinn unmittelbar wahrgenommen. Daß die Gesichtsempfindungen an und für sich, ohne alle vorausgängige Erfahrung Vorstellungen von einer bestimmten Richtung des Gesehenen hervorrufen sollen, ist eine, wie mir scheint, vollkommen unnöthige Hypothese, und noch weniger begründet ist vom Standpunkte der empiristischen Ansicht aus die Voraussetzung, daß die Vorstellung der Richtung hierbei sogar beeinflusst sein soll durch den Ort, wo sich das Bild auf der Netzhaut befindet, daß ein unten abgebildeter Punkt auch deshalb unten erscheinen müßte, während doch das natürliche Bewußtsein nicht einmal von der Existenz einer Netzhaut oder optischer Bilder auf ihr, geschweige denn von der Lage derselben etwas weiß.

In der nativistischen Theorie der Sinneswahrnehmungen, wo man voraussetzt, daß die Nervenreizung auch unmittelbar und unabhängig von aller Erfahrung die Vorstellung eines gewissen Orts des wahrgenommenen Objects hervorbringen soll, muß allerdings vorausgesetzt werden, daß die angeborenen Localisationen durch das Gesicht in einer gewissen angeborenen Uebereinstimmung mit denen durch den Tastsinn sich befinden, sei es nun, daß man sich denkt, die Sehnervenfasern, welche von den unteren Seiten der Netzhäute kommen, wendeten sich im Gehirn nach oben, und es entstände dort ein richtig gestelltes Bild der Objecte, was die Seele anschaute, oder daß man das Anschauen in den Netzhäuten vor sich gehen läßt und die Tastwahrnehmungen entsprechend den auch verkehrt gesehenen eigenen Händen und Beinen des Beobachters ebenfalls verkehrt in dieses Anschauungsbild eintragen läßt, wo dann also alle unsere Raumvorstellung verkehrt sein und bleiben würde. Es ist hier natürlich der weiteste Spielraum für die wildesten Hypothesen eröffnet.

Ich meine, daß eine angeborene Uebereinstimmung der Localisationen durch den Gesichtssinn und Tastsinn den Erfahrungen gegenüber, welche die
607 Wirksamkeit der fortdauernden Controlle für die richtigen Beziehungen beider Sinne auf einander durch die Erfahrung beweisen, nicht festgehalten werden kann, weil man sonst in die Schwierigkeit kommt, daß die angeblich angeborene und durch unmittelbare Empfindung gegebene Uebereinstimmung jeden Augenblick durch Erfahrung, also durch Urtheilsacte so verändert und

überwältigt werden kann, daß von dieser hypothetischen Empfindung sich gar nichts mehr merklich macht.

Meines Erachtens hat der Streit über den Grund des Aufrechtsehens nur das psychologische Interesse zu zeigen, wie schwer selbst Männer von bedeutender wissenschaftlicher Befähigung sich dazu verstehen, das subjective Moment in unseren Sinneswahrnehmungen wirklich und wesentlich anzuerkennen und in ihnen Wirkungen der Objecte zu sehen, statt unveränderter Abbilder (*sit venia verbo*) der Objecte, welcher letztere Begriff offenbar sich selbst widerspricht.

Wir haben bisher nur untersucht, in welchen Richtungen wir weit entfernte Objecte zu sehen glauben; es bleibt noch übrig, das Centrum zu bestimmen, auf welches diese Richtungslinien bezogen werden, was namentlich für die Beurtheilung der Richtung naher Objecte nicht gleichgültig ist. Gewöhnlich ist früher die Annahme gemacht worden, daß jedes Auge die gesehenen Gegenstände in Richtung der auf Seite 91 definirten Richtungslinien nach außen setze, wonach dann die Richtungen, in denen nahe Gegenstände gesehen werden, im Allgemeinen für beide Augen verschieden sein würden. In dieser Beziehung hat E. HERING auf eine merkwürdige Täuschung aufmerksam gemacht, vermöge deren wir die Richtung der gesehenen Gegenstände so wahrnehmen, als ob beide Augen in der Mittelebene des Kopfes ständen und auf ihren gemeinsamen Fixationspunkt gerichtet wären.

Es mögen im Anfang beide Augen *A* und *B*, *Fig. 228*, hinausblicken in parallelen Richtungen *Aa* und *Bb*, das Auge *B* aber möge dann geschlossen werden, während *A* noch immer das unendlich weit entfernte Object *a* fixirt und die Richtungen beider Augen also unverändert bleiben. Man sieht *a* unter diesen Umständen in richtiger Richtung. Jetzt accommodire man *A* für einen viel näher gelegenen Punkt *f* der Linie *Aa*, wobei also die Lage des Auges *A* und seiner Gesichtslinie *Aa*, so wie der Ort des Netzhautbildes von *a* auf der Netzhaut des Auges *A*, ganz unverändert bleiben und das Netzhautbildchen nur etwas weniger scharf begrenzt wird. Der Erfolg ist, daß eine Scheinbewegung des Objects *a* eintritt, wodurch es etwa in die Richtung *Ac* hinübrückt. So wie man wieder für unendliche Ferne accommodirt, weicht *a* scheinbar an seinen ersten Platz zurück.

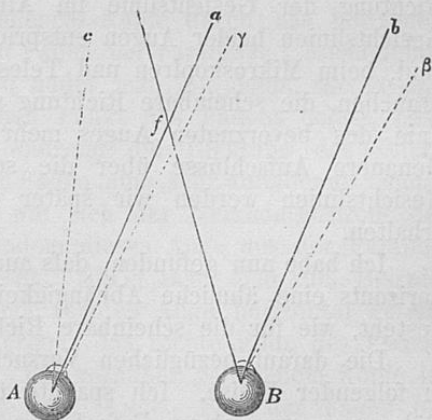


Fig. 228.

Nun verändert sich bei diesem Versuche durchaus nicht die Richtung ⁶⁰⁸ der Gesichtslinie *Aa*, wenigstens nicht um eine bemerkbare und in Betracht

kommende Größe, sondern nur die Stellung des verschlossenen Auges B verändert sich, weil bei dem Streben, für den Punkt f zu accommodiren, sich gleichzeitig auch die andere Gesichtslinie auf f hinrichtet. Die Gesichtslinie des Auges B kommt also, während f fixirt wird, in die Richtung Bf .

Umgekehrt ist es mir möglich, meine Gesichtslinien etwas divergent zu machen auch bei geschlossenen Augen, so daß das Auge B in der Richtung $B\beta$ blickt. Diese Divergenz kann ich nur langsam erreichen und sehe deshalb keine deutliche Scheinbewegung. Dagegen tritt eine solche ein, wenn ich mit der Anstrengung für die Divergenz plötzlich nachlasse und nun die Gesichtslinien in parallele Stellung zurückspringen. Dabei sehe ich dann das Object a etwa aus der Stellung γ nach a zurückweichen.

Es hat also nicht nur die Stellung des sehenden Auges A , sondern auch die des geschlossenen Auges B Einfluß auf unsere Beurtheilung der Richtung, in der der fixirte Gegenstand liegt. Wenn das geöffnete Auge unbeweglich stehen bleibt, das geschlossene Auge sich aber nach rechts oder links bewegt, bewegt sich scheinbar auch der vom geöffneten Auge fixirte Gegenstand nach rechts oder links.

Für meine beiden Augen ist die Größe dieser Scheinbewegung ziemlich verschieden; sie ist gering, wenn das rechte geöffnet ist und fixirt, viel größer, wenn das linke geöffnet, das rechte geschlossen ist. Die Richtung der Gesichtslinie wird also nach den Innervationen, welche auf beide Augen gleichzeitig ausgeübt werden, bestimmt und nicht allein nach der des geöffneten Auges. Dabei dürfen wir wohl vermuthen, daß die scheinbare Richtung der Gesichtslinie im Allgemeinen der mittleren Richtung der Gesichtslinien beider Augen entspricht, wobei aber bei Leuten, die gewöhnt sind, beim Mikroskopiren und Teleskopiren ein Auge vorzugsweise zu gebrauchen, die scheinbare Richtung sich der wahren Richtung der Gesichtslinie des bevorzugten Auges mehr annähert, als der des andern Auges. Genauere Aufschlüsse über die scheinbare gleichzeitige Richtung beider Gesichtslinien werden wir später durch das Phänomen der Doppelbilder erhalten.

Ich habe nun gefunden, daß auch für die scheinbare Lage des Netzhauthorizonts eine ähnliche Abhängigkeit von den Raddrehungen beider Augen besteht, wie für die scheinbare Richtung der Gesichtslinie.

Die darauf bezüglichen Versuche gelangen mir selbst am einfachsten in folgender Weise. Ich spannte über das eine Ende einer cylindrischen Röhre von etwa einem Fuß Länge einen schwarzen Faden als Durchmesser aus, nahm das andere Ende der Röhre vor ein Auge, während das zweite Auge geschlossen war, hielt vor das entferntere Ende der Röhre ein weißes Blatt Papier, so daß ich nichts von den Gegenständen des Zimmers sah, und suchte nun den schwarzen Faden durch Drehung der Röhre um ihre Längsaxe möglichst genau horizontal oder vertical zu stellen, und zwar mit parallel gerichteten Blicklinien, eine Bedingung, die ich auch bei verschlossenem zweiten Auge zu erfüllen gelernt habe. Wenn ich dann das

weiße Papier von dem vorderen Ende der Röhre wegzog, konnte ich die 609 Richtung, welche ich dem Faden gegeben hatte, mit der Richtung verschiedener objectiver horizontaler und verticaler Linien vergleichen, die sich im Zimmer vorfanden. Ich setzte mich bei diesen Versuchen fest auf einen Lehnstuhl und bog den Kopf bald vornüber, bald hintenüber, oder hielt ihn vertical, während die Röhre immer horizontal gehalten, dabei aber bald gerade aus, bald nach rechts, bald nach links gerichtet wurde, so daß sich dabei die Blicklinie nach einander in alle möglichen Lagen gegen den Kopf einstellte.

Es zeigte sich, daß ich in allen diesen Stellungen, soweit das Auge sich ohne fühlbaren Zwang bewegen konnte, bei parallelen Blickrichtungen die horizontal erscheinende Linie wirklich horizontal stellte und die vertical scheinende nur um einen solchen Winkel von der wirklich verticalen abweichen ließ, wie der scheinbar verticale Meridian des betreffenden Auges vom wirklich verticalen abweicht.

Es geht also namentlich aus diesen Versuchen hervor, daß keineswegs in jeder Stellung des Auges der ursprünglich horizontale Meridian, den wir Netzhauthorizont genannt haben, immer für horizontal und der darauf senkrechte für vertical gehalten wird.¹ Im Gegentheil bei seitlich und stirnwärts oder wangenwärts gerichtetem Blick kann der Netzhauthorizont Winkel bis zu zehn Graden mit der Horizontalebene machen, und doch wird auch dann eine wirklich horizontale und in der horizontalen Visirebene liegende Linie für horizontal gehalten.

Anders gestaltet sich die Sache, wenn man die Augen convergiren läßt. Man schaue bei hintenüber gebogenem Kopfe durch das horizontal geradeaus gerichtete Rohr und richte den Faden bei parallelen Gesichtslinien horizontal. Prüft man seine Richtung, so findet man ihn dann, wie gesagt, wirklich horizontal. Jetzt fixire man einen Punkt des Fadens selbst, oder accommodire möglichst für die Nähe, während die Richtung des Blicks unverändert bleibt. Sogleich erleidet der Faden eine sehr auffallende scheinbare Drehung, und zwar in dem Sinne, wie sich der Netzhauthorizont des anderen Auges des Beobachters dreht, indem dieses Auge aus der Parallelstellung in die Convergenzstellung übergeht. Blickt man also zum Beispiel bei hintenüber gebogenem Kopfe mit dem rechten Auge horizontal gerade aus, so senkt sich bei eintretender Convergenz das rechte Ende des Fadens scheinbar, während sich das linke hebt. Bei vornüber gebogenem Kopfe ist es umgekehrt. Umgekehrt auch für das linke Auge. Soll der Faden bei convergenten Augen horizontal erscheinen, so muß die Röhre um einige Grade im entgegengesetzten Sinne seiner scheinbaren Ablenkung gedreht werden, worauf er bei wiederhergestellten parallelen Blickrichtungen nicht mehr horizontal erscheint. Die hierbei anzuwendenden Drehungen der Röhre

¹ Herr E. HERING hat die Regel in dieser Form aufgestellt (*Beiträge zur Physiologie* S. 254), aber er hat nicht in parallelen Augenstellungen experimentirt und nicht in solchen Blickrichtungen, wo sich die Abweichung hätte zeigen können, da sein Fixationspunkt immer in der Medianebene lag.

sind viel bedeutender, als die außerordentlich kleinen wirklichen Drehungen meines beobachtenden Auges bei eintretender Convergenz des andern (siehe Seite 626) und können durch diese nicht erklärt werden.¹

610 Wir haben hier vielmehr eine Erscheinung gleicher Art, wie bei der Beurtheilung der Richtung der gesehenen Gegenstände. Trotz der unveränderten Haltung des sehenden Auges bringt die veränderte Richtung und Drehung des nicht sehenden ein verändertes Urtheil über die Richtungen der horizontalen und verticalen Linien hervor.

Da nicht alle Beobachter die Fähigkeit haben, willkürlich ohne entsprechenden Fixationspunkt ihre Augen parallel oder convergent zu stellen, habe ich die Methode für parallele Gesichtslinien noch in folgender Weise abgeändert. Vor einer breiten einförmig angestrichenen grauen Wand wurde ein langer schwarzer Faden mit einem kleinen Gewichte vertical aufgehängt. An dem Gewichte waren rechts und links noch horizontale Fäden befestigt, die durch Ringe gingen. Einer dieser Fäden wurde durch ein kleines Gewicht gespannt gehalten, der andere war zum Beobachter hingeleitet, der etwa sechs Fufs von dem verticalen Faden entfernt safs, und je nachdem der Beobachter diesen Faden anzog oder nachliefs, wurde der verticale Faden etwas nach rechts oder links von der Verticallinie abgelenkt. Der Beobachter blickte durch eine cylindrische, horizontal gehaltene Röhre nach dem verticalen Faden, so dafs er keine anderen verticalen oder horizontalen Linien im Gesichtsfelde hatte, und suchte jenen Faden genau vertical zu stellen. Das untere Ende des verticalen Fadens bewegte sich vor einer kleinen Scale, an der seine Ablenkung abgelesen werden konnte.

Nach dieser Methode hat Herr Dr. DASTICH im Heidelberger physiologischen Laboratorium Versuche angestellt. Sein linkes Auge, welches normalsichtig war, wurde hauptsächlich gebraucht, da das rechte kurzsichtig ist. Um den Faden vertical zu sehen, stellte er das untere Ende desselben stets etwas nach rechts, entsprechend dem Sinne der Abweichung des scheinbar verticalen vom wirklich verticalen Meridian. Die Abweichung von der Verticale betrug:

Linkes Auge.	
Kopf senkrecht, geradeaus sehend:	1° 52'
nach rechts sehend:	2° 4'
nach links sehend:	1° 49'
Kopf vorgebeugt, geradeaus sehend:	1° 37'
rechts oder links sehend:	2° 22'
Kopf zurückgebeugt, geradeaus sehend:	1° 37'
rechts oder links sehend:	2° 7'
Rechtes Auge.	
Kopf senkrecht, geradeaus sehend:	— 0° 42'.

¹ Messungsreihen über die Gröfse dieser Winkel konnte ich nicht machen, weil oft wiederholte starke Accommodationsanstrengungen mir bald heftiges Kopfweh machen.

Die Schrägstellungen waren alle so weit von der Primärstellung entfernt, als es ohne fühlbare Anstrengung der Augenmuskeln anging. Zwischen den nach unten rechts und nach unten links gekehrten Blickrichtungen hätte sich ein Unterschied von etwa 16° zeigen müssen, wenn immer derselbe Meridian des Auges der verticalen Richtung entspräche; statt dessen war der Unterschied unmerklich klein. Ebenso bei den nach oben rechts und oben links gekehrten Blickrichtungen. Die kleinen Unterschiede, welche sich überhaupt zwischen den Winkeln des linken Auges hier zeigen, mögen von kleinen Unregelmäßigkeiten der Augenbewegung herrühren, vielleicht auch von dem Umstande, daß die Blickrichtungen zwar nahehin, aber doch nicht absolut parallel waren. Nach brieflichen Mittheilungen sind die Linien, welche Herr A. VOLKMANN als senkrecht einstellt, bei parallelen Gesichtslinien weder immer absolut senkrecht, noch mit dem verticalen Meridiane übereinstimmend, sondern scheinen etwa mitten zwischen der Richtung einer absolut verticalen Ebene und der des verticalen Meridians des Auges zu liegen. Herr VOLKMANN ist kurzsichtiger als Herr DASTICH und ich selbst, und es könnte diese Abweichung vielleicht davon herrühren, daß kurzsichtige Augen überhaupt bei parallelen Blicklinien nicht genau genug sehen, um eine sichere Einübung zu gewinnen.

611

Die Differenz, welche durch die Convergenzstellungen entsteht, kann man bei diesen Versuchen dadurch nachweisen, daß man erst den entfernten langen Faden senkrecht einstellt, dann bei derselben Kopfhaltung den in der Röhre ausgespannten Faden, diesen fortdauernd fixirend, und endlich die Stellung beider Fäden vergleicht.

Wenn man endlich mit convergentem Blicke einen Punkt in der Medianebene des Kopfes fixirt, so werden, wie HERING¹ gefunden hat, Linien für horizontal gehalten, welche der Lage des Netzhauthorizonts des betreffenden Auges entsprechen. Er steckte zu dem Ende zwei Cylinder vom Durchmesser des Gesichts in einander, deren Länge etwa 5—6 Zoll betrug. Ueber das vordere Ende eines dieser Cylinder war ein Faden gespannt, dessen Mitte fixirt wurde und der durch Drehung des Cylinders scheinbar horizontal gestellt werden konnte. Die Einstellung wurde 10 bis 20 mal wiederholt und dann das Mittel genommen.

Die beschriebenen Thatsachen zeigen, daß in Bezug auf die Radrehungen ein ähnlicher Einfluß beider Augen besteht, wie in Bezug auf die Beurtheilung der Richtungen, und es scheint, daß man die bisher vorliegenden Thatsachen (die allerdings noch genaueren Messungen unterzogen werden müssen) unter folgende Regel anschaulich vereinigen kann, welche eine Erweiterung des von HERING für die Richtungen des Sehens aufgestellten Principis sein würde.

¹ E. HERING, *Beiträge zur Physiologie* S. 254—256. Die Polemik, welche Herr HERING, auf diesen Versuch gestützt, gegen mein Princip der leichtesten Orientirung geführt hat, und ebenso die Begründung seines dagegen aufgestellten Principis der vermiedenen Scheinbewegung fällt aber zu Boden, weil das Resultat dieses Versuchs mit seinen Angaben nur übereinstimmt, wenn der Fixationspunkt in der Medianebene liegt.

Man denke sich in der Mitte zwischen beiden Augen ein imaginäres mittleres Cyclopaenge, welches auf den gemeinsamen Fixationspunkt beider Augen gerichtet ist, und dessen Raddrehungen nach demselben Gesetze erfolgen, wie die der beiden wirklichen Augen. Man denke sich die Netzhautbilder aus einem der wirklichen Augen in dieses imaginäre Auge übertragen, so daß Blickpunkt auf Blickpunkt und Netzauthorizont auf Netzauthorizont fällt. Dann werden die Punkte des Netzhautbildes nach außen projectirt, in der Richtungslinie des imaginären Cyclopaenges.¹

Stellen wir also zum Beispiel unser rechtes Auge fest, lassen aber das linke aus paralleler in convergente Stellung übergehen, also sich nach rechts 612 bewegen, wobei es im Allgemeinen auch eine Raddrehung machen wird, so müßte sich auch das Cyclopaenge um einen etwa halb so großen Winkel nach rechts drehen und eine etwa halb so große Raddrehung machen. Die Folge davon ist, daß die Gesichtsbilder des rechten ruhenden Auges scheinbar um denselben Winkel verschoben und gedreht werden, wie das Cyclopaenge.

So lange der Fixationspunkt in der Medianebene liegt, erleidet das Cyclopaenge keine Raddrehung, und dem entsprechend erscheinen für alle diese Stellungen die Netzauthorizonte horizontal.

Um die Erklärung dieses sonderbaren Verhaltens zu geben, müssen wir uns erinnern, daß unser natürliches Sehen binocular ist, und daß wir unmittelbar aus der Erfahrung nur lernen die Lagenverhältnisse von Körpern, die wir fixiren, zu beurtheilen in Beziehung auf die Lage unseres eigenen Körpers, den wir fühlen. Rechts für uns ist ein Körper, der rechts von der Mittelebene unseres Körpers liegt, der aber, wenn er dieser näher als unser rechtes Auge ist, mit schwacher Linkswendung des rechten Auges bei starker Rechtswendung des linken gesehen werden kann. Wir gehen nicht darauf aus, die Richtung der Objecte gegen jedes einzelne unserer Augen, nicht einmal gegen unseren Kopf, sondern vielmehr gegen unseren Rumpf, als den Träger unserer Bewegungsorgane zu beurtheilen. Auf die letztere Beziehung kommt es in praktischer Beziehung wesentlich an.

Das sinnliche Zeichen für ein rechts gelegenes Object ist also nicht, daß eines oder beide Augen bei seiner Fixation nach rechts gewendet sind, sondern nur, daß ihre mittlere Richtung nach rechts gewendet ist. Die Eindrücke der einzelnen Augen von einander zu sondern, sind wir auch nur in wenigen Fällen geübt, nämlich in denen, wo es praktische Wichtigkeit hat, wie beim zweiäugigen Sehen von Körpern. Daher sind wir gut geübt, die gemeinsame mittlere Richtung und Drehung beider Augen wahrzunehmen und nach ihr die Lage der fixirten Objecte zu beurtheilen, aber schlecht geübt, die Richtung jedes einzelnen Auges zu beurtheilen oder

¹ Der wesentliche Unterschied gegen die Regel von HERING ist, daß ich das Cyclopaenge Raddrehungen machen lasse, während HERING dessen Netzauthorizont immer in der Visirebene liegen läßt.

überhaupt im Bewußtsein zu trennen, was dem einen oder anderen Auge angehört.

Wenn wir also von Richtung des Sehens reden, so sind wir nicht gewöhnt und nicht geübt die verschiedene Richtung beider Augen von einander zu unterscheiden, und beziehen diese Richtung überhaupt auf die Mittelebene unseres Kopfes, beziehlich unseres Körpers. In diesem Sinne hat HERING Recht, wenn er die Projectionen beider Augen in das Gesichtsfeld auf einen gemeinsamen Mittelpunkt, der zwischen beiden in der Mittelebene des Körpers, in der Gegend des Nasenrückens liegt, bezieht. Es ist dies ein richtiger Ausdruck der Thatsachen, wenn ich es auch nicht, wie der genannte Beobachter, als ursprüngliches Fundament für die Erklärung der Gesichtserscheinungen benutzen möchte, schon deshalb nicht, weil auf einen Theil der hierher gehörigen Erscheinungen die Richtung der Aufmerksamkeit einen merklichen Einfluß hat.

Man blicke mit einem Auge nach einem entfernten Objecte und halte vor den unteren Theil des Gesichtes ein Blatt Papier so, daß man die eigenen Hände und Arme nicht sehen kann. Man schiebe dann den Zeigefinger der rechten Hand unter dem deckenden Schirme so in die Höhe, als wollte man nach dem gesehenen Gegenstande hinzeigen. Der Finger wird 613 hinter dem Papier links von dem fixirten Gegenstande zum Vorschein kommen, wenn man mit dem rechten Auge hinblickt, rechts, wenn man mit dem linken sieht.

Umgekehrt ist der Erfolg, wenn man nicht nach einem entfernten Objecte, sondern nach einem nahen, etwa einem Pünktchen am Rande des Papierschirmes, blickt und den Finger in größerer Entfernung so hervorzuschieben sucht, daß er gerade hinter diesem Pünktchen erscheine.

Dieser Erfolg entspricht der von HERING aufgestellten Regel. Beim gewöhnlichen unbefangenen Sehen beziehen wir die Sehrichtungen auf unsere Nasenwurzel und schieben den Finger ein zwischen diese und das fixirte Object, wobei er denn in der That nicht in die wirkliche Gesichtslinie zu liegen kommt.

Der hier beschriebene Versuch mißlingt aber auch oft. Wenn ich nämlich meine Aufmerksamkeit auf den Umstand concentrirte, daß ich nur mit dem rechten Auge sehe und lebhaft an den Ort des rechten Auges im Kopfe denke und dann den Finger vorschiebe, um das fixirte Object zu verdecken, so schiebe ich ihn wirklich in der richtigen Richtung vor.

Wir kommen auf die hier besprochenen Erscheinungen noch wieder zurück in der Lehre vom Doppelsehen.

Hierher gehört auch die Erfahrung, die ich oft gemacht habe, daß, wenn ich bei geschlossenen Augen einen Zeigefinger in die Höhe halte und ihn mit noch geschlossenen Augen zu fixiren suche, ich im Moment des Oeffnens Doppelbilder des Fingers sehe, welche parallele oder fast parallele Richtung der Blicklinien anzeigen, wobei diese Linien auf beiden Seiten ungefähr gleich weit am Finger vorbeischießen. Sonderbarer Weise erhalte

ich aber eine deutlichere Vorstellung vom Orte des Fingers, wenn ich bei geschlossenen Augen seine Spitze mit dem Daumen derselben Hand berühre und reibe. Dann bin ich in der That im Stande, schon bei geschlossenen Lidern die Augen so einzustellen, daß ich den Finger einfach sehe im Augenblick, wo ich sie aufschlage. Dasselbe geschieht auch, wenn ich mit dem Finger einen äußeren festen Körper berühre und betaste.

Wenn nun endlich durch die Vergleichen der Tast- und Gesichtswahrnehmungen die Kenntniß der Richtung gewonnen ist, in der wir die gesehenen objectiven Gegenstände zu suchen haben, so ergibt sich daraus auch schließlic die Localisation der anderweitig entstandenen optischen Bilder und subjectiven Erregungen unserer Netzhaut und unseres Sehnervenapparats.

Wir verlegen nämlich alle Erregungen der Sehnervenfasern nach dem Gesetze hinaus in den Raum, daß wir Lichterscheinungen in denjenigen Theilen des Sehfeldes oder beider Sehfelder zu haben glauben, in denen körperliche Objecte erscheinen würden, welche im Stande wären, durch ihr Licht die entsprechenden Stellen der Netzhäute zu beleuchten. Die Richtigkeit dieser Behauptung zeigt sich einfach dann, wenn wir subjective Erscheinungen hervorrufen, während gleichzeitig wirkliche Objecte im Gesichtsfelde gesehen werden. Wenn wir z. B. ein Nachbild von der Sonne im Auge entwickelt haben und nach der Landschaft hinsehen, so deckt sich ⁶¹⁴ dieses Nachbild mit gewissen äußeren Objecten, welche wir wegen der Existenz des Nachbildes schlechter sehen, als wir sonst gethan hätten. Gewisse Theile der Netzhaut sind ermüdet; die Bilder derjenigen äußeren Objecte, welche sich darauf abbilden, sind dunkler als sonst. Der Inbegriff dieser dunkleren Objecte im Gesichtsfelde ist das Nachbild. Es ist also selbstverständlich, daß das Nachbild im Gesichtsfelde zusammenfällt mit denjenigen Objecten, welche sich auf der ermüdeten Stelle der Netzhaut abbilden. Ebenso können Schatten entoptischer Objecte, Gefäßfiguren, Druckbilder, elektrische Bilder im Gesichtsfelde mit äußeren Objecten zusammenfallen. Eine solche Coincidenz bewirkt allemal, daß die Empfindung des von außen kommenden Lichts gewisser Punkte des Gesichtsfeldes entweder ausgelöscht, oder geschwächt, oder mit anderen subjectiven Lichtempfindungen gemischt wird. Indem wir die entsprechende Veränderung in dem Aussehen gewisser äußerer Punkte bemerken, kann natürlich die Veränderung im Gesichtsfelde nicht anders localisirt werden, als diejenigen Punkte, welche verändert erscheinen, schon localisirt sind, und die subjective Erscheinung muß nach denselben Regeln in die Außenwelt hinausverlegt werden, welche als Ergebniß der Erfahrung für die durch wirkliches äußeres Licht wahrgenommenen Punkte erlernt worden sind.

Nun können freilich einzelne subjective Lichterscheinungen auch im ganz dunklen Gesichtsfelde vorkommen, wo sie natürlich nach derselben Regel localisirt werden. Wenn sie hier auch nicht mit wahrnehmbaren Bildern wirklich gesehener äußerer Gegenstände zusammenfallen, so ist doch

für jede Stelle der Netzhaut durch Erfahrung die Richtung schon bekannt, in welcher gesehene Objecte liegen müßten, die sich auf ihr abbilden, mit welchen alsdann das subjective Phänomen zusammenfallen würde. Dafs auch im dunklen Felde die subjectiven Erscheinungen, Nachbilder zum Beispiel, nach demselben Gesetze wie die Eindrücke wirklich gesehener Objecte localisirt werden, zeigt sich empirisch dann, wenn wir das dunkle Gesichtsfeld, ohne das Auge zu bewegen, plötzlich hell machen; so sehen wir auch das Nachbild, und zwar ohne dafs es seinen Platz veränderte, nunmehr mit bestimmten Objecten vor uns zusammenfallen und diese decken. Da es beim Uebergang von Dunkel zu Hell seinen Platz nicht änderte, so war es also schon vorher so localisirt, wie die äufseren Objecte, mit denen es schliesslich zusammenfiel.

Diese Betrachtungen lassen wohl über die Richtigkeit unseres Gesetzes keinen Zweifel, wonach jeder Eindruck auf die Netzhaut genau in demjenigen Theil des Gesichtsfeldes verlegt wird, wo ein äufseres Object erscheinen würde, welches passend gelegen ist, um bei geradlinigem Einfall des Lichtes in das Auge denselben Eindruck auf die Netzhaut zu machen.

Das Gesetz läfst sich auch durch directere Versuche erweisen, aber freilich nicht mit sehr grofser Schärfe. Wir wissen, dafs ein rechts gelegenes leuchtendes Object auf der linken Seite der Netzhaut abgebildet wird, ein links gelegenes auf der rechten, ein oben liegendes unten, ein unten liegendes oben. Bei Leuten mit dünnen und durchscheinenden Augenhäuten können wir das optische Bild eines sehr hellen Lichtes, ja sogar an den angegebenen Stellen durch die Sclerotica scheinen sehen (S. 86). Wenn wir nun die rechte Seite des Auges mit dem Nagel drücken, sehen wir das Druckbild links (S. 236). Wenn wir durch eine Brennlinse starkes Licht auf die rechte Seite der Sclera auffallen lassen, erscheint uns links im Gesichtsfelde eine entsprechende Lichterscheinung. Wenn wir an der genannten Stelle einen absteigenden elektrischen Strom aus dem Auge austreten lassen, erscheint uns ebenfalls links der entsprechende helle Fleck. 615

Wenn wir das Auge dagegen links reizen, haben wir die subjective Erscheinung rechts im Gesichtsfelde, wenn wir unten reizen, haben wir sie oben, wenn oben, unten.

Die optischen Täuschungen, welche auf diesem Principe beruhen, sind sehr zahlreich. Wir können sie in folgende Hauptklassen eintheilen:

1) Die Lichtstrahlen des Objects sind, ehe sie in das Auge treffen, von ihrem Wege abgelenkt worden durch Reflexion, Refraction oder Diffraction. Wenn das Licht nach der Veränderung seines Weges homocentrisch bleibt, so glauben wir im Allgemeinen, mit Vorbehalt der beschriebenen Urtheiltäuschungen, das Object an derjenigen Stelle des Raumes zu sehen, wo der Durchschnittspunkt der in das Auge eintretenden (nöthigenfalls rückwärts verlängerten) Strahlen liegt. Wir nennen diesen Durchschnittspunkt deshalb das optische Bild des Objectes (S. 55). Von dieser Art sind die optischen Wirkungen unsererer dioptrischen und katoptri-

schen Fernröhre und Mikroskope, unserer ebenen und kugelig gekrümmten Spiegel, der Loupen und anderer Glaslinsen, so wie auch der Prismen, wenn sie so angewendet werden, daß sie merklich homocentrisches Licht geben. Ich brauche hier auf die Wirkung dieser Instrumente nicht näher einzugehen, da die Lehre davon einen breit und sorgfältig ausgebildeten Zweig der physikalischen Optik bildet. Alle diese Instrumente entwerfen optische Bilder der Objecte, welche wir statt der letzteren zu sehen glauben, sie bringen also optische Täuschungen hervor, aber solche, deren Irrthum wir leicht zu vermeiden wissen, während wir im Stande sind an den vergrößerten oder sonst veränderten optischen Bildern mancherlei zu erkennen, was wir bei directer Betrachtung des Objects nicht erkennen können. Ein ebener Spiegel läßt uns die Objecte von einem Standpunkte aus sehen, den wir in Wirklichkeit oft nicht einnehmen können, nämlich vom Standpunkte eines hinter der Spiegelebene befindlichen Beobachters, der z. B. unser eigenes Gesicht von vorn erblickt, was wir direct nicht können. Ein Prisma trennt uns die Bilder eines lichten Objects, welche den verschiedenen einfachen Farben seines Lichts entsprechen, und so fort.

Wenn bei der Veränderung des Weges das Licht nicht homocentrisch bleibt, erblicken wir dagegen mehr oder weniger verwaschene lichte Stellen in denjenigen Theilen des Gesichtsfeldes, welche den beleuchteten Stellen der Netzhaut entsprechen. Von dieser Art sind die Erscheinungen des Regenbogens, die Diffractionsfransen, das Glitzern bewegten Wassers und so weiter.

2) Das Licht fällt geradlinig in das Auge, letzteres ist aber nicht für den leuchtenden Punkt accommodirt. Ist die Pupille frei, so erscheinen in einem solchen Falle im Gesichtsfelde statt leuchtender Punkte leuchtende Flächen mehr oder weniger unregelmäßig gebildet in Form 616 der bekannten strahligen Figur kleiner Zerstreuungskreise (S. 170); kleinere Objecte, wie die Mondsichel, erscheinen sehr gewöhnlich als doppelt oder mehrfach (S. 171 u. 172). Es sind diese Erscheinungen bedingt dadurch, daß das Licht eines Punktes des Objects nicht mehr auf einen einzelnen Punkt der Netzhaut concentrirt wird, sondern sich über eine kleine Fläche derselben zerstreut. Der beleuchteten Netzhautfläche entsprechend wird eine flächenhaft ausgebreitete Lichterscheinung im Gesichtsfelde gesehen.

Wenn nicht die ganze Pupille frei ist, sondern man durch ein Kartenblatt mit einer engen Oeffnung blickt, so erscheinen die Objecte auch in falscher Richtung und Größe; bewegt man das Kartenblatt, so bewegt sich auch scheinbar der Gegenstand, wie dies auf S. 118 erklärt ist. Hier hat allerdings jeder helle Punkt des Objects ein fast punktförmiges Bild auf der Netzhaut, aber dieses hat wegen der mangelhaften Accommodation des Auges nicht seine normale Lage.

Wenn man durch Kartenblätter mit zwei oder drei Oeffnungen sieht, erblickt man bei mangelhafter Accommodation die Objecte verdoppelt oder verdreifacht.

Diese Versuche sind wichtig, weil sie erkennen lassen, daß auch die genaue Accommodation des Auges mit zu den Bedingungen des normalen Sehens gehört, auf welches sich die Einübung bei der Localisation der Sinneseindrücke bezieht. Wir projiciren die Zerstreuungskreise oder die Theile der Zerstreuungskreise, welche beim Sehen durch enge Oeffnungen stehen bleiben, so in das Gesichtsfeld, als wären es Bilder, die bei genauer Accommodation gebildet wären. Für jeden beleuchteten Punkt der Netzhaut setzen wir auch dabei wieder einen lichten Punkt in das Gesichtsfeld. Es haben auch diese Versuche bei der Entwicklung der physiologischen Optik einige Wichtigkeit gehabt, weil sie erkennen ließen, daß nicht die Richtung, in welcher ein Lichtstrahl in das Auge gelangt, noch die Richtung, in welcher er die Netzhaut trifft, sondern nur der Ort der Netzhaut, welcher getroffen wird, die Richtung der Projection bestimmen. Betrachtet man *Fig. 63* auf S. 119, so weichen hier die Projectionslinien $f'g$ und $g\gamma$ wesentlich von den wirklichen Richtungen der gebrochenen und ungebrochenen Strahlen ab.

3) Es erscheinen körperliche Objecte aus dem Auge selbst, wie die entoptischen Objecte: fliegende Mücken, Gefäßschatten, Netzhautgrube u. s. w., wie sie in § 15 und zum Theil in § 25 beschrieben sind. Diese beschatten die hintere Schicht der Netzhaut und erscheinen deshalb im Gesichtsfelde selbst als Schatten. Die optische Täuschung versetzt hierbei also Gegenstände, die im Auge liegen, nach außen und zwar meistentheils in verkehrter Lage, da gewöhnlich der Schatten des Objects auf der Netzhaut aufrecht stehend ist. Da die Lage dieser Gebilde sich nur durch ihre subjective Erscheinung bestimmen läßt, so lehren sie für die Theorie nichts Neues.

4) Die Nerven werden gereizt, oder ihre Erregungsstärke wird verändert. In diesen Fällen ist nicht das Licht selbst, sondern die Lichtempfindung verändert; hierher gehören die Druckbilder, das Accommodationsphosphen, die leuchtenden Garben an der Eintrittsstelle des Sehnerven bei Bewegung des Auges, das Eigenlicht der Netzhaut, die elektrischen Erscheinungen, wie sie in § 17 beschrieben sind. Bei dieser letzten Klasse von Erscheinungen besteht die Täuschung nicht mehr allein in einer falschen Localisation eines leuchtenden oder dunklen Objects. Es ist vielmehr gar kein solches vorhanden, sondern nur die Empfindung, welche der Regel nach durch solche Objecte hervorgebracht zu werden pflegt. 617

Bei gesunden Menschen im wachen Zustande treten alle diese täuschenden Erscheinungen, welche wir beschrieben haben, im Gesichtsfelde wohl ein, und lassen sich nicht einmal beseitigen durch die bessere Einsicht, wodurch sie als Täuschungen anerkannt werden. Indessen ist diese bessere Einsicht in der Regel vorhanden, die Täuschung ist als Täuschung anerkannt. Wenn wir durch ein optisches Instrument oder in einen Spiegel sehen, so wissen wir, daß wir unter abgeänderten Bedingungen sehen, und lernen bald die richtigen Urtheile über die wirkliche Beschaffenheit der

Gegenstände mittelst des falschen Bildes fällen. Wir lernen zum Beispiel nach dem Anblick des Spiegelbildes uns rasiren, kämmen u. s. w., trotzdem dieses Bild überall rechts und links verkehrt zeigt. Wir lernen nach einiger Uebung mit Nadeln unter der Loupe oder selbst unter dem zusammengesetzten Mikroskope zu präpariren, obgleich beide Instrumente jede Bewegung unserer Hand in übertriebener Gröfse, das letztere auch in verkehrter Richtung zeigen, so dafs wir also sogar eine neue Einübung unserer Bewegungen nach falschen optischen Bildern ausbilden können.

Bei den übrigen Erscheinungen, welche in dem Auge selbst ihren Grund finden, scheint es namentlich der Umstand, dafs die subjectiven Phänomene sich mit dem Auge bewegen, zu sein, welcher sie als subjectiv erkennen läfst. Bei schnell aufblitzenden Erscheinungen der Art, welche ebenso schnell wieder verschwunden sind, fällt dieses Merkmal fort, und da kann man in der That oft zweifelhaft sein, ob man etwas Wirkliches gesehen habe. Wenn man zum Beispiel im Finsternen seinen Weg sucht und im indirecten Sehen bei einer Bewegung des Körpers und Auges seitlich ein Lichtschein aufblitzt, ist mitunter der bestunterrichtete Beobachter aufser Stande bestimmt zu sagen, ob ein solcher objectiv oder subjectiv war. Dafs manche Gespenstergeschichten durch solche subjective Erscheinungen hervorgerufen sind, ist sehr wahrscheinlich. Das Eigenlicht der Netzhaut ist reich an Gestaltungen, denen von einem furchtsamen Menschen leicht allerlei wunderliche Deutungen untergeschoben werden können, namentlich wenn er das Auge starr auf die gefürchtete Erscheinung richtet und daher nicht bemerken kann, dafs sie sich mit dem Auge bewegt. In Fiebern und Gehirnkrankheiten, wo die regelrechte Verbindung der Vorstellungen gestört ist, die einzelnen nicht fest gehalten, verglichen und combinirt werden können, fehlt dann auch die zur Anerkennung der subjectiven Natur der genannten optischen Erscheinungen nöthige Ueberlegung, und es knüpfen sich daran häufig phantastische Vorstellungen. Im Säuerwahn sind schwarze Flecke im Gesichtsfelde, welche sich mit dem Auge schnell umherbewegen; diese erwecken die Vorstellung von herumlaufenden Mäusen, schwarzen Käfern oder Fliegen. In Fieberphantasien erkennt man aus den Beschreibungen der Kranken dagegen
618 oft die lichten und farbigen Punkte und Kreise wieder, welche bei leichtem Druck auf das Auge auch bei Gesunden hervorgebracht werden können und bald für Feuerfunken, bald für feurige Augen u. s. w. gelten.

Bei den bisher beschriebenen Erscheinungen ist von uns immer angenommen worden, dafs der Kopf aufrechte Haltung habe, oder wenn nicht, dafs wir eine richtige Kenntniß seiner Neigung haben. Schliesslich ist noch eine Täuschung zu erwähnen, welche von einer falschen Schätzung der Richtung des Kopfes herrührt. AUBERT¹ brachte in einem Fensterausschnitt eines übrigens verdunkelten Zimmers einen Spalt von 5 Centimeter Länge und 2 Centimeter Breite an, der den einzigen hellen und sichtbaren Gegen-

¹ H. AUBERT, *Virchow's Arch. f. pathol. Anatomie.* Bd. XX.

stand in dem umgebenden Raume bildete. War diese helle Linie vertical und neigte er den Kopf nach rechts, so dafs das rechte Ohr sich nach unten richtete, so erschien die Linie geneigt von rechts unten nach links oben. Neigung des Kopfes nach links gab die entgegengesetzte Scheinverschiebung der Linie. War die Linie unter 45 Grad gegen den Horizont geneigt und verlief von links unten nach rechts oben, so erschien sie bei der Neigung des Kopfes nach rechts vertical, ja über die Verticale hinaus nach entgegengesetzter Richtung gedreht. Bei der Neigung nach links erschien sie horizontal, ja über die Horizontale hinausgedreht. Das Maximum der Drehung der hellen Linie trat ein, wenn der Kopf um etwa 135° geneigt war.

Die Drehung der hellen Linie folgt der Neigung des Kopfes, wenn diese langsam ausgeführt wird, ziemlich unmittelbar; neigt man aber den Kopf plötzlich bedeutend, so vergehen einige Secunden, bevor die Linie die Drehung vollendet.

Wenn man bei unverändert schiefer Haltung des Kopfes das Zimmer beleuchten läfst, so erscheint die verticale Linie wieder vertical. Läßt man das Licht auslöschen, so geht sie in ihre frühere Neigung zurück.

Wir haben es hierbei nicht zu thun mit einer wirklichen Drehung des Auges im Kopfe, wie man sich mit Hilfe von Nachbildern überzeugen kann. Ein im verticalen Meridian des Auges entwickeltes Nachbild scheint bei einer Drehung des Kopfes um einen rechten Winkel nach rechts im dunklen Zimmer nicht horizontal zu liegen, wie es wirklich liegt, sondern schräg von links unten nach rechts oben, und eine objective helle Linie, welche wirklich diese letztere Neigung hat, erscheint vertical.

Die Täuschung beruht vielmehr darauf, dafs wir im Dunkeln die Seitenneigung unseres Kopfes für kleiner halten, als sie wirklich ist.

Statt im dunklen Zimmer zu beobachten, kann man die Linie auch an einer einförmig angestrichenen Wand anbringen und vor das Gesicht einen cylindrischen Schirm anbringen, der den Anblick aller seitwärts gelegenen Gegenstände verhindert.

Es gehören hierher ferner die bekannten Erscheinungen über die Scheinbewegungen der gesehenen Gegenstände, wenn unser Körper selbst auf einem Nachen oder in einem langsam und leise vorwärts bewegten Eisenbahnwagen in Bewegung ist, oder umgekehrt die täuschende Erscheinung einer eigenen scheinbaren Bewegung, wenn wir selbst zwar ruhig sitzen, aber die vor uns befindlichen Gegenstände mit constanter Geschwindigkeit bewegt sind. Das grösste Beispiel der ersteren Art ist die scheinbare Ruhe der Erde und die scheinbare Bewegung des Sternenhimmels. Zweifel entstehen oft, wenn auf einer Station zwei Eisenbahnzüge neben einander halten, in deren einem sich der Beobachter befindet und den andern betrachtet. Wenn dann einer von beiden sich in Bewegung setzt, ist es oft schwer zu ermitteln, ob dies der eigene oder der andere ist, wenn es nicht gelingt feststehende Theile des Erdbodens oder der Gebäude zu sehen. Auch in Sternwarten mit drehbarem Kuppeldach, wie solche für die Auf-

stellung des Heliometers gebraucht werden, tritt bei der Drehung des Daches wohl die Täuschung ein, daß sich der Fußboden drehe und das Dach still stehe.

Im Allgemeinen hält man dabei gewöhnlich den größeren Theil des gesehenen Gesichtsfeldes für ruhend, den kleineren für bewegt. Dann kommt aber hinzu, daß wir beim Anfange einer Bewegung Stöße oder Erschütterungen unseres Körpers oder wenigstens Wirkungen der Trägheit seiner schweren Masse zu fühlen erwarten. Wenn nun die Bewegung sehr leise beginnt, wie die eines Nachens, so glauben wir nicht uns in Bewegung zu befinden, oder wenn wir Stöße gefühlt haben, wie von einem dicht daneben fahrenden Eisenbahnzuge, die sich auf den stehenden übertragen, so glauben wir bewegt zu sein. Wenn die eine oder andere Deutung gleich möglich ist, kann der Beobachter auch willkürlich die eine oder andere Anschauung in sich erzeugen.

Für die Beobachtung des Gesichtsschwindels, der durch eine angeschaute Bewegung entsteht und den Herr J. J. OPPEL an strömendem Wasser (dem Rhein bei Schaffhausen kurz vor dem Falle) bemerkt hatte, hat derselbe einen Apparat construiert, den er Antirrhioskop nennt und mit dem man die Erscheinung jederzeit beobachten kann. Derselbe besteht aus fünf parallel neben einander liegenden Walzen von $2\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser und $2\frac{1}{2}$ Fuß Länge, welche durch eine größere Rolle alle nach derselben Richtung in Umdrehung gesetzt werden können. Jede Walze ist mit weißem Papier überzogen, auf dem je zwei schwarze Spiralen von je $2\frac{1}{2}$ Windungen gezeichnet sind. Jede Spirale besteht wiederum aus einem breiten mittleren schwarzen Streifen von $1\frac{1}{2}$ Zoll Breite, neben dem in einer Entfernung von je einem halben Zoll zwei schmalere schwarze Streifen von einem halben Zoll Breite hergehen. Das weiße Band zwischen dem schwarzen Streifen der einen und der nächstbenachbarten Spiralwindung hat dann wieder $1\frac{1}{2}$ Zoll Breite, so daß Weiß und Schwarz symmetrisch vertheilt sind. Wird nun die größere Scheibe, deren Rand mit Reibung an den Enden der Walzen schleift, gedreht, so drehen sich alle Walzen in gleichem Sinne, die mittleren mit etwas größerer Geschwindigkeit als die äußeren, um die ungleiche Bewegung des Wassers im Flusse nachzuahmen. Die Spiralbänder scheinen dann mit gleichförmiger Geschwindigkeit sich der Länge der Walzen parallel zu verschieben, und wenn der Beobachter eine Zeit lang auf die scheinbar bewegten Bänder hingeblickt hat und nun auf ruhige Objecte sieht, scheinen diese rückwärts zu gehen.

Herr OPPEL hat vor den Walzen auch noch ein Gesichtszeichen befestigt, um den Blick fixirt zu halten. Da aber bei fester Fixation dieses Zeichens, wie es scheint, der Versuch ihm oft misslungen ist, und er glaubte, daß feste Fixation zur Erzeugung des Schwindels nöthig und daß die feste Fixation nur durch den Anblick der bewegten Masse gehindert sei, so hat er als Fixationszeichen ein rautenförmiges Holztäfelchen von $\frac{1}{2}$ Zoll Breite und $\frac{3}{4}$ Zoll Höhe angewendet, welches selbst langsam durch die Mechanik des Instrumentes gedreht wurde und dem Beschauer bald die eine, bald die andere Seite zukehrte. Hiermit gelangen die Versuche, weil, wie ich selbst meine, durch diese
630 Einrichtung dauernde feste Fixation ein und desselben festen Punktes unmöglich gemacht war, da jeder Punkt des Holztäfelchens, den man etwa hätte fixiren wollen, abwechselnd schwand und wieder zum Vorschein kam. Ich selbst muß nach meinen Versuchen gerade das Entgegengesetzte von OPPEL behaupten, nämlich, daß bei ganz strenger Fixirung des Blicks der Schwindel nicht zu Stande kommt, sondern nur durch die unwillkürlichen und meist unbewußten kleinen Bewegungen, mittels deren wir den bewegten Körpern folgen. Darin aber hat OPPEL Recht, daß größere willkürliche Bewegungen des Auges, mit denen wir bewußter Weise eine längere Strecke hindurch dem bewegten Körper folgen, der Täuschung hinderlich sind.

Historisches. Dafs man die Objecte aufrecht sieht, ohngeachtet ihre Netzhautbilder verkehrt sind, schrieb KEPLER¹ der Seele zu, welche den Eindruck auf einen untern Theil der Netzhaut sich so vorstellen soll, als wenn er von den Strahlen eines höheren Punktes der Sache entstände. Ebenso SCHEINER,² PRIESTLEY³ leitet diese Eigenthümlichkeit der Gesichtsvorstellungen aus der Vergleichung mit dem Tastsinn her. DESCARTES⁴ erläutert die natürliche Methode, die Gröfse, Lage und Entfernung der Gegenstände aus der Richtung der Augenaxen zu beurtheilen, indem er sie vergleicht mit der Art, wie ein Blinder von der Gröfse und Entfernung einer Sache vermittels zweier Stäbe, selbst von unbekannter Länge, urtheilt, wenn seine Hände, worin er die Stäbe hält, in einer bekannten Entfernung und Lage gegen einander sind. Uebrigens veranlafste die Frage wegen des Aufrechtsehens der Objecte eine grofse Menge von Schriften.⁵

KEPLER⁶ fand auch schon die richtige Regel für die scheinbare Lage der durch brechende oder spiegelnde Instrumente gesehenen Objecte, indem er sie in den Convergenzpunkt der in das Auge tretenden Strahlen verlegte. Die Schwierigkeiten, welche später zu vielfachen Discussionen über diesen Punkt führten, betrafen nicht sowohl die Richtung, in der das Object gesehen wurde, als vielmehr seine Entfernung, wovon im folgenden Abschnitt zu sprechen sein wird.

PORTERFIELD⁷ glaubte, dafs wir vermöge einer ursprünglichen Einrichtung unserer Natur die Gegenstände irgendwo in der geraden Linie sehen, die senkrecht auf die Netzhaut an der Stelle, wohin das Bild fällt, gezogen wird. Dieselbe Annahme wurde auch von D'ALEMBERT,⁸ BARTELS⁹ und vielen Anderen festgehalten. VOLKMANN¹⁰ hat für die Normalen der Netzhaut die Richtungslinien gesetzt, welches nach der auf S. 91 gegebenen Definition die durch das Netzhautbild und den (hintern) Knotenpunkt des Auges gezogenen Linien sind. Diese Linien sind in der That die richtigen, um objectiv bei physikalischen Untersuchungen den leuchtenden Punkt zu finden, wenn der Ort des Netzhautbildes in dem gut accommodirten Auge und dessen Stellung vollständig gegeben sind. So spielen also die Richtungslinien eine wichtige Rolle in der physiologischen Optik, namentlich, wo es sich darum handelt, zu ermitteln, mit den Bildern welcher äufseren Objecte irgend welche Erregungen der Netzhaut durch Licht oder durch innere Reize sich decken. So weit wir also den Ort der gesehenen Gegenstände objectiv richtig beurtheilen, so weit ist VOLKMANN'S Darstellungweise im Recht. Eine solche richtige Beurtheilung trifft aber fast nur zu für die direct mit beiden Augen gesehenen Punkte und selbst für diese nicht immer. Alle indirect gesehenen Punkte verlegen wir in falsche Richtungen, indem wir den Winkel zwischen ihrer Richtungslinie und der Blicklinie zu klein nehmen, wie der vorige Paragraph gelehrt hat, und so oft wir die Augen convergiren lassen und auf nähere Objecte richten, beurtheilen wir die Richtungen der gesehenen Objecte falsch, wie die oben beschriebenen Versuche lehren. Eine Hauptschwierigkeit der Theorie von VOLKMANN ist die Erklärung der binocularen Doppelbilder, wie HERING¹¹ richtig bemerkt 621 hat. Wir können also die Theorie von VOLKMANN nicht als ein angebornes und elementares Gesetz auffassen, welches an und für sich schon die Richtung des Gesehenen

¹ KEPLER, *Paralipomena*, p. 169. — SMITH, *Opticks. Rem.*, p. 4.

² SCHEINER, *Oculus*, p. 192.

³ PRIESTLEY, *Geschichte der Optik*, übersetzt von KLÜGEL, Leipzig 1776, S. 69.

⁴ DESCARTES, *Dioptrice*, p. 68 und *De homine*, p. 66.

⁵ KAESTNER in *Hamburger Magazin*, VIII, St. 4, Art. 8—IX, St. 1, Art. 4. — LICHTENBERG in *Erzlebens's Naturlehre*, 6. Aufl., S. 328. — RUDOLPHI, *Physiologie*, II, 227. — L. FICK in *Müller's Archiv für Anatomie*, 1854, S. 220. — Noch andere unten im Literaturverzeichniss.

⁶ KEPLER, *Paralipomena*, p. 285 und p. 69—70.

⁷ PORTERFIELD, *On the eye*, II, 2-5.

⁸ D'ALEMBERT, *Opuscula mathem.*, I, p. 26.

⁹ BARTELS, *Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinnes*, Berlin 1834.

¹⁰ VOLKMANN. *Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinnes*, Leipzig 1836, und Artikel Sehen in *R. Wagner's Handwörterbuch der Physiologie*. — S. auch MILE, über Richtungslinien des Sehens, *Poggendorff's Annalen*, XLII, 245, und *Müller's Archiv für Anatomie*, 1838, S. 387.

¹¹ E. HERING, *Beiträge zur Physiologie*. Leipzig 1861. S. 35—64.

bestimmte. Ein wesentliches Verdienst HERING's ist es, den Einfluss der Convergenzstellungen hierbei in das Licht gestellt zu haben.

Den Einfluss der Schwindelbewegungen und Scheinbewegungen haben untersucht PLATEAU¹, OPPEL² und ZOELLNER³; den Einfluss falscher Beurtheilung der Kopfstellung AUBERT⁴; über den Einfluss der Lähmung einzelner Muskeln A. v. GRAEFFE⁵ und NAGEL.⁶

§ 30. Wahrnehmung der Tiefendimension.

Wir haben in den beiden vorangehenden Paragraphen beschrieben, wie sich die gesehenen Objecte in der Fläche des Sehfeldes scheinbar neben einander ordnen, und welche Momente auf die Art dieser Anordnung, die scheinbaren Abstände der einzelnen Objecte im Sehfelde Einfluss haben. Wir haben dabei allerdings zur Erleichterung der geometrischen Auffassung uns erlaubt für das Sehfeld die Gestalt einer Kugel anzunehmen, aber dabei ausdrücklich hervorgehoben, dass die scheinbare Anordnung im Sehfelde überhaupt eben nur eine flächenhafte Anordnung, nach zwei Dimensionen ausgedehnt, sei, aber keineswegs eine Anordnung auf irgend einer bestimmten Fläche, die ihre feste Lage und Gröfse hätte. Die Form dieser Fläche des Sehfeldes blieb vielmehr vollständig unbestimmt. Eben deshalb kann sie aber nun noch jede beliebige Form annehmen, so bald irgend welche neue Momente der Wahrnehmung hinzutreten, die über eine solche Aufschluss geben.

Das einäugige Sehen giebt zunächst nur die Wahrnehmung der Richtung, in der der gesehene Punkt liegt. Dieser kann sich in der Visirlinie, in der er liegt, hin und her bewegen, ohne dass in dem Eindruck auf das Auge sich etwas ändert mit Ausnahme der Gröfse des Zerstreuungskreises, den er auf der Netzhaut erzeugt; und so lange die Verschiebung die Länge von CZERMAK's Accommodationslinie (s. S. 114) nicht überschreitet, wird diese Veränderung des Zerstreuungskreises gar keine wahrnehmbare Gröfse haben. Welche Fehler wir in der Wahrnehmung der Richtung einer solchen Visirlinie begehen, ist im vorigen Paragraphen auseinandergesetzt worden. Das einäugige Sehen giebt uns also zunächst weiter nichts als die scheinbare Richtung der Visirlinie, in der der gesehene Punkt zu suchen ist.

Um nun eine vollständige Kenntniss der wirklichen Vertheilung der gesehenen Objecte im Raume zu erhalten, ist es weiter noch nöthig, in der genannten Visirlinie auch den Abstand jedes gesehenen Punktes vom Auge zu kennen. Zur Kenntniss der Flächendimensionen des Feldes mufs auch noch die Kenntniss seiner Tiefendimension kommen. Die tägliche Erfahrung lehrt uns, dass wir auch diese Tiefendimensionen beurtheilen,

¹ PLATEAU, *Bulletin de Bruxelles*, T. XVI. — *Poggendorff's Annalen*, LXXX, S. 287.

² OPPEL, *Poggendorff's Annalen*, XLIX, 543.

³ F. ZÖLLNER, *Poggendorff's Annalen*, CX, 500.

⁴ H. AUBERT, *Virchow's Archiv für pathologische Anatomie*, XX, 381—393.

⁵ A. v. GRAEFE, *Archiv für Ophthalmologie*, I, 1, S. 67.

⁶ NAGEL, *Das Sehen mit zwei Augen*. Breslau 1861. S. 124—129.

bald mehr, bald weniger genau. Wir haben also zu untersuchen, auf welche Weise wir zur Kenntniß der Abstände der gesehenen Objecte vor unserem Auge kommen. 623

Hierbei sind zweierlei Hilfsmittel zu trennen, die einen gehören der Erfahrung über die besondere Natur der gesehenen Objecte an und geben also nur Vorstellungen des Abstandes, die andern gehören der Empfindung an und geben eine wirkliche Wahrnehmung des Abstandes. Zu diesen letzteren gehören: 1) das Gefühl der nothwendigen Accommodationsanstrengung, 2) die Beobachtung bei bewegtem Kopf und Körper, 3) der gleichzeitige Gebrauch beider Augen.

Ehe wir untersuchen, wann und wieviel diese letztgenannten Hilfsmittel der Wahrnehmung leisten, wird es nöthig sein die aus der Erfahrung genommenen Momente zu untersuchen, um abscheiden zu können, was diesen angehört. Diesen gehört alles an, was wir zu unterscheiden wissen in Bezug auf die Tiefendimensionen des Gesichtsfeldes mit einem Auge, bei unbewegtem Kopfe, an Gegenständen, die weit genug entfernt oder so verwaschen gezeichnet sind, daß keine deutlich fühlbare Accommodationsanstrengung für ihre Betrachtung stattfindet. Es kommt hierbei in Betracht erstens die mitgebrachte Kenntniß der Größe der gesehenen Objecte, dann die ihrer Form, ferner die Vertheilung des Schattens, endlich die Trübung der vor ihnen liegenden Luft.

Derselbe Gegenstand aus verschiedener Entfernung gesehen giebt verschieden große Netzhautbilder und erscheint unter verschiedenen Gesichtswinkeln. Je entfernter er ist, desto kleiner der Gesichtswinkel, unter dem er erscheint. Wie also die Astronomen aus der Messung der wechselnden Gesichtswinkel, unter denen uns Sonne und Mond erscheinen, die Aenderungen in der Entfernung dieser Gestirne berechnen können, so können wir aus dem Gesichtswinkel, oder was dem entspricht, aus der Größe des Netzhautbildchens eines gesehenen Gegenstandes von bekannter Größe, eines Menschen zum Beispiel, die Entfernung schätzen, in der er sich von uns befindet. Es sind namentlich Menschen und Hausthiere, welche in dieser Beziehung werthvolle Merkzeichen in der Landschaft bilden, weil sie durch ihre Bewegung leicht erkennbar sind, nur wenig in der Größe wechseln und ihre Größe uns sehr gut bekannt ist. Namentlich Militärpersonen pflegen gut geübt zu sein, auf den Abstand entfernter Truppenmassen auf unbekanntem Terrain in dieser Weise richtig zu schließen, so wie man denn auch zu militärischen Zwecken verschiedene kleine optische Apparate eingerichtet hat, mit denen man den Gesichtswinkel für die Höhe eines entfernten Mannes messen und danach seine Entfernung ablesen kann. Häuser, Bäume und Culturpflanzen dienen demselben Zwecke weniger sicher, wegen ihrer weniger constanten Größe, wobei denn auch gelegentlich starke Irrthümer unterlaufen. Ein Bewohner der Ebene hält Weinberge leicht für Kartoffelfelder, oder Tannen auf fernen hohen Bergen für Heidekraut, und schätzt danach die Entfernungen

und Gröfsen der Berge zu klein. Aus derselben Rücksicht brauchen die Maler Staffage von Menschen und Vieh in Landschaften, um die Gröfse der dargestellten Dinge einigermaafsen kenntlich zu machen.

624 Damit hängt nun auch noch zusammen, dafs dieselben Objecte, wie der Mond oder ferne Berge, wenn wir sie wegen trüberer Luft oder aus anderen Gründen für ferner halten, uns gleichzeitig auch immer in demselben Maafse an Gröfse zu wachsen scheinen. Ferner die Erfahrung, dafs ferne Theile der Landschaft, durch ein vergrößerndes Fernrohr gesehen, dem Beschauer in der Regel nicht vergrößert, sondern nur genähert erscheinen, und er sich erst durch Oeffnen des anderen Auges davon überzeugen muß, dafs die Bilder auch vergrößert sind.

Da übrigens diese Beziehung zwischen Entfernung und Gröfse erst durch lange Erfahrung erlernt werden muß, wird es nicht auffallen können, dafs Kinder hierin ziemlich ungeübt sind und leicht grobe Irrthümer machen. Ich selbst entsinne mich noch, dafs ich als Kind an einem Kirchthurm (der Garnisonkirche zu Potsdam) vorübergegangen bin und auf dessen Gallerie Menschen sah, die ich für Püppchen hielt, und dafs ich meine Mutter bat sie mir herunterzulangen, was, wie ich damals glaubte, sie können würde, wenn sie den Arm ausstreckte. Der Zug hat sich meinem Gedächtnisse eingepägt, weil mir an meinem Irrthum das Gesetz der perspectivischen Verkleinerung deutlich wurde.

Zur Kenntnifs der Gröfse kommt ferner in sehr vielen Fällen die Kenntnifs der Form der gesehenen Objecte, namentlich in solchen Fällen, wo das eine zum Theil vom andern gedeckt wird. Wenn wir zum Beispiel in der Entfernung zwei Hügel sehen, von denen der eine mit seiner Basis sich vor den andern vorschiebt und den letzteren zum Theil verdeckt, so schliessen wir daraus unmittelbar, dafs der deckende vor dem gedeckten liegt; denn wenn dies nicht der Fall wäre, so müfste der andere einen überstehenden Theil und eine nach unten sehende Begrenzungsfläche haben, wie sie an Hügeln nie vorkommt, und auferdem müfste der Zufall es mit sich bringen, dafs diese überhängende Grenzlinie desselben gerade in der Contourlinie des anderen Hügels, wo dieser nicht deckt, ihre Fortsetzung fände. Es wäre dies eine an sich mögliche Auslegung des gesehenen Bildes, die aber aller Erfahrung widerspräche. Dasselbe kann natürlich bei allen möglichen Arten von Gegenständen vorkommen, die sich theilweis decken. Selbst wenn uns ihre Gestalt noch durchaus unbekannt ist, wird in den meisten Fällen der Umstand, dafs die Contourlinie des deckenden Objects, wo sie über die Contourlinie des bedeckten hingeht, ihre Richtung nicht ändert, entscheidend sein, um den deckenden von dem gedeckten Gegenstande zu unterscheiden. Man kann auch leicht Täuschungen hervorbringen, wenn man absichtlich ein deckendes Papierblatt so hält, dafs es eine Ecke darbietet, wo es mit dem theilweis gedeckten zusammenstößt, an letzterem aber die Contour in derselben Richtung fortläuft.

Am auffallendsten sind die Täuschungen, die auf diesem Principe

beruhen, an spiegelnden und brechenden Flächen, die vor ihrer dem Beobachter zugekehrten Seite ein reelles optisches Bild entwerfen. Die meisten Personen überzeugen sich nur schwer davon, daß dieses Bild vor dem Spiegel in der Luft liegt; denn sie sehen Lücken im Bilde, wo der Spiegel ein Fleckchen hat, sie sehen das Bild begrenzt durch den Rand des Spiegels, sie sehen überhaupt alle kleinen Unregelmäßigkeiten des Spiegelbelegs ungetrübt durch das Bild hindurch. Das Bild erscheint durchaus als der bedeckte, also hintere Gegenstand, während es in der That der vordere ist. Ja selbst, wenn man mit Hilfe des zweiäugigen Sehens, der Kopfbewegungen und der Accommodation sinnliche Momente in das Spiel bringt, welche die Wahrnehmung des Bildes an seinem richtigen Orte unzweideutig feststellen könnten, ist es nicht immer ganz leicht, sich von der Täuschung frei zu machen. Das beste Mittel ist noch, daß man in der Ebene des Bildes einen Schirm anbringt mit einem Ausschnitt, in dem das Bild erscheint, während der Rand der spiegelnden oder brechenden Fläche, die es entwirft, dadurch verdeckt wird. Dann sieht der Beobachter leicht, daß das Bild in der Ebene des Schirmes liegt.¹

Es gehört hierher ferner auch die Erfahrung, daß subjective Gesichtserrscheinungen bei geöffneten Augen immer auf die Fläche der im Gesichtsfelde sichtbaren körperlichen Objecte projicirt erscheinen. Da sie bei Bewegungen des Auges sich mitbewegen, werden sie gleich als subjective Erscheinungen von den objectiven getrennt, und es wird ihnen keine Realität zugeschrieben, sondern sie erscheinen nur als Flecken auf den reellen Objecten, wenn die Aufmerksamkeit ihnen überhaupt zugewendet wird. Dies geschieht in der Regel sogar dann, wenn binoculare Nachbilder in beiden Augen entwickelt sind, welche die Wahrnehmung einer bestimmten Localisation im Raume möglich machen würden. Auch solche ist man meist geneigt auf die gesehenen reellen Objecte zu projiciren, statt eine stereoskopische Raumanschauung von ihnen auszubilden, und nur bei besonders darauf gerichteter Aufmerksamkeit gelingt das letztere.

In vielen Fällen genügt es zu wissen oder zu vermuthen, daß der gesehene Gegenstand eine Form von gewisser Regelmäßigkeit hat, um sein perspectivisches Bild, wie es uns entweder das Auge oder eine künstlich gefertigte Zeichnung zeigt, richtig als Körperform zu deuten.² Wenn ein Haus, ein Tisch oder andere von Menschen gefertigte Gegenstände dargestellt sind, dürfen wir voraussetzen, daß deren Winkel rechte sind und deren Flächen Ebenen oder cylindrische und kugelige Flächen. Das genügt, um nach einer richtigen perspectivischen Zeichnung sich richtige Anschauungen des Objectes zu bilden. Eine perspectivische Zeichnung eines Hauses oder eines physikalischen Apparates verstehen wir ohne Schwierigkeit, selbst wenn sie recht verwickelte Verhältnisse darstellt. Ist sie gut schattirt, so wird der Ueberblick noch leichter. Aber die vollkommenste Zeichnung oder

¹ Darüber siehe DOVE in *Poggendorff's Annalen* LXXXV.

² RECKLINGHAUSEN im *Archiv für Ophthalmologie* V, 2, S. 163.

v. HELMHOLTZ, *Physiol. Optik*, 2. Aufl.

selbst Photographie eines Meteorsteines, eines Eisklumpens, mancher anatomischen Präparate und ähnlicher unregelmäßiger Gegenstände giebt kaum ein Bild ihrer körperlichen Form. Namentlich Photographien von Landschaften, Felsen, Gletschern bieten dem Auge oft nichts als ein halbverständliches Gewirr grauer Flecken, während dieselben Photographien bei passender stereoskopischer Combination die allerschlagendste Naturwahrheit wiedergeben.

Wenn dergleichen regelmässig gebildete Producte menschlichen Kunstfleisses, deren Grundformen rechtwinkelige Parallelepipede, Cylinder und Kugelflächen sind, aus der Nähe betrachtet werden, so daß die vorderen Theile in einem deutlich gröfseren Maafsstabe auf der Netzhaut sich abbilden
626 als die hinteren, so läfst eine richtige perspectivische Abbildung derselben meist nur eine Deutung zu, und wir kommen nicht in Verlegenheit zu erkennen, welches die vorderen, welches die hinteren Theile sind. Werden sie aus grofser Ferne gesehen, oder sind sie sehr flach im Relief, so kann es aber zweifelhaft werden, wie sie zu deuten sind. Dahin gehört die von SINSTEDEN¹ an einer Windmühle gemachte Beobachtung, die sich des Abends gegen den hellen Himmel projecirte, so daß sie nur wie in einer Silhouette halb von der Seite erschien, als gleichmäfsig dunkles Object auf hellem Grunde, und nur ihre Umrifslinie sichtbar war. Er beobachtete nämlich, daß die Flügel der Mühle bald in der einen, bald in der andern Richtung herumzugehen schienen. Bei einem solchen Anblicke bleibt es nämlich unentschieden, ob die Frontseite der Mühle, welche die Flügel trägt, oder die Rückseite dem Beobachter zugekehrt ist, und ob er also die Flügel selbst schräg von vorn oder von hinten sieht. Sähe er sie von vorn, so würde die perspectivisch der Mühle zugekehrte Seite der Flügel ihm die nähere sein; sähe er sie von hinten, so würde diese ihm die fernere sein. Je nachdem er die eine oder andere Auslegung wählt, scheint die ihm zugekehrte Seite der Flügel bei der Drehung aufzusteigen oder abzusteigen, und er erhält also beim Wechsel der Deutung des Bildes auch eine scheinbar umgekehrte Bewegung der Flügel. Ob man nun in die eine oder andere Deutung der Erscheinung verfällt, hängt zunächst scheinbar vom Zufall ab. Auch lassen sich die Gründe, warum die Erscheinung oft plötzlich wechselt, nicht immer ermitteln; dagegen kann man auch willkürlich den Wechsel herbeiführen, nämlich dadurch, daß man sich das entgegengesetzte Verhalten der Mühle lebhaft vorstellt. So wie man dann den sinnlichen Eindruck als vollkommen übereinstimmend mit dieser Vorstellung wahrnimmt, tritt die Vorstellung als sinnliches Anschauungsbild ein.

Es gehört hierher auch folgende von SCHROEDER² angegebene Figur, welche ohne Schattirung in *Fig. 229* wiedergegeben ist. Dieselbe wird zuerst und am leichtesten als die geometrische Projection einer Treppe auf-

¹ SINSTEDEN, *Poggendorffs Annalen* CXI, 336—339. MOHR, ebenda 638—642.

² SCHROEDER, *Poggendorffs Annalen* CV, 298.

gefaßt werden, so daß die mit *a* bezeichnete Fläche dem Beschauer näher ist, als die mit *b* bezeichnete, welche letztere die Wand darstellt, an die die Treppe sich anlehnt. Sie kann aber auch so aufgefaßt werden, als sähe man ein überhängendes Mauerstück *b*, welches nach unten und links treppenförmig endet, so daß die Fläche *b* näher, *a* ferner wäre und der Beobachter von unten und links her nach der treppenförmigen Fläche schaut. Die erstere Deutung ist uns die geläufigere, und sie tritt deshalb meist zuerst ein, doch schlägt sie auch

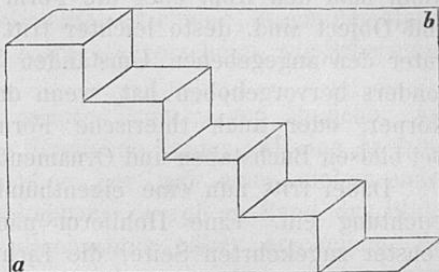


Fig. 229.

leicht und ohne bestimmt zu bezeichnenden Grund in die zweite um. So wie ich mir aber lebhaft die eine oder andere Körperform vorstelle, so tritt auch sogleich die Anschauung derselben an der Figur hervor. Gelingt es nicht von selbst aus der ersten Anschauung in die zweite überzugehen, so kann man das, wie SCHROEDER bemerkt, dadurch bewirken, daß man das Buch langsam umdreht, bis das untere Ende desselben nach oben gekehrt ist, und während der ganzen Zeit die Figur betrachtet. Dann bleibt die Fläche *a*, die einmal dem Beschauer näher vorgestellt wird, ihm fort-dauernd die nähere, und nach einer Drehung um 180° hat man genau dieselbe Figur wieder, wie im Anfang, nur daß die Buchstaben *a* und *b* ihre Lage vertauscht haben, und daß nur scheinbar die rechts oben gelegene senkrechte Fläche die nähere geworden ist. Bei SCHROEDER ist dieselbe Figur in zweierlei Weise schattirt, was den Erfolg weiter nicht verändert.

Ähnliches kann man an einer großen Zahl perspectivischer Linienzeichnungen, zum Beispiel solchen, welche regelmäßige Körper, Krystallmodelle u. s. w. in geometrischer Projection (also wie von einem unendlich entfernten Punkte aus gesehen) darstellen, beobachten. Dieselbe Ecke oder Kante kann bald einspringend, bald ausspringend erscheinen. Oft wechselt die Vorstellung unwillkürlich. Ich finde aber, daß man sie auch immer willkürlich wechseln lassen kann, wenn man lebhaft eine andere Deutung sich vorstellt.

Es schließen sich hieran die Beobachtungen über die scheinbare Umkehrung des Reliefs von Matrizen für Medaillen, wobei indessen auch die Beschattung einen Einfluß ausübt. Wenn man von einer Medaille, welche in ziemlich flachem Relief geschnitten ist, einen Abguß in Gyps oder Stearin macht, der also eine Matritze darstellt, an der alle convexen Krümmungen des Originals concav, alle hervorragenden Theile vertieft erscheinen, und man diese Matritze so legt, daß sie von schräg überfallendem Tageslicht beleuchtet wird, und also kräftig schattirt erscheint, so glaubt man, mit einem Auge danach hinsehend, sehr leicht eine Matritze zu sehen von der

ursprünglichen Form der Medaille. Sieht man mit beiden Augen gleichzeitig nach der Matritze hin, so schwindet in der Regel die Täuschung; ebenso wenn man den Kopf oder die Form hin- und herbewegt. Je ruhiger Auge und Object sind, desto leichter tritt die Täuschung ein. Namentlich ist sie unter den angegebenen Umständen fast unvermeidlich, wie SCHROEDER besonders hervorgehoben hat, wenn das Relief einen menschlichen Kopf oder Körper, oder auch thierische Formen, Blätter und dergleichen darstellt. Bei bloßen Buchstaben und Ornamenten bleibt die Täuschung viel leichter aus.

Dabei tritt nun eine eigenthümliche Täuschung auch betreffs der Beleuchtung ein. Eine Hohlform nämlich zeigt die Schatten an der dem Fenster zugekehrten Seite, die Lichter an der abgekehrten; eine erhabene Form umgekehrt.

Wenn uns daher die Matritze als Patritze erscheint, so erscheint sie auch gleichzeitig von der dem Fenster entgegengesetzten Seite her beleuchtet zu sein. Dazu kommt nun noch, daß eine so schräg beleuchtete erhabene Form einen merklichen Schlagschatten auf den ebenen Grund werfen müßte, welcher Schlagschatten natürlich an der verkehrt gesehenen Matritze fehlt. Dadurch entsteht, wie SCHROEDER es nennt, eine Art magischer Beleuchtung des Reliefs, die gleichsam aus dem Innern zu kommen scheint. Die Ursache davon scheint mir zu sein, daß der Schlagschatten auf dem ebenen Grunde fehlt, und daher dieser Grund wie transparent beleuchtet erscheint.

Man kann übrigens, wie schon RITTENHOUSE und nach ihm viele Andere bemerkten, die Täuschung erhöhen und erleichtern dadurch, daß man auch die Beleuchtung der Matritze umkehrt. Entweder, wie OPPEL in seinem Anaglyptoskop¹ gethan hat, dadurch, daß man das Licht des Fensters durch einen Schirm abhält und dafür einen Spiegel an der entgegengesetzten Seite anbringt, den der Beobachter nicht bemerkt; dann erscheint die scheinbare Patritze vom Fenster her beleuchtet zu sein. Oder man kann die Matritze durch ein spiegelndes rechtwinkeliges Prisma betrachten oder durch eine Linse, die ein umgekehrtes Bild von ihr entwirft. In allen diesen Fällen erscheint die Beleuchtung richtig, obgleich sie immer etwas fremdartiges durch den fehlenden Schlagschatten behält, namentlich, wenn das Relief sehr stark ist. Die Beobachtung durch eine umkehrende Linse trennt außerdem für den Beobachter die Form aus ihrer übrigen Umgebung los und erfordert eine unveränderliche Lage des Auges, weil das Bild der Medaille sonst von der Grenze der Linse verdeckt wird. Alle diese Umstände begünstigen die Täuschung. Daher ist es wohl zu erklären, daß man sie bei solchen umgekehrten von Linsen und Spiegeln entworfenen Bildern zuerst wahrgenommen hat.

Daß es im Ganzen viel seltener gelingt, Patritzen als scheinbare Matritzen zu sehen, scheint nur davon herzurühren, daß jene gewöhnlich einige Schlagschatten zeigen, welche die Deutung der convexen als eine hohle Form unmöglich machen.

¹ OPPEL, *Poggendorff's Annalen* XCIX, 466—469.

Eine eigenthümliche hierher gehörige Täuschung beschreibt D. BREWSTER.¹ Fufsstapfen im Sande erschienen ihm erhöht. Es zeigte sich, daß der Wind helleren Sand hineingeweht und an einem Rande aufgehäuft hatte, so daß dieser Rand scheinbar stärker beleuchtet erschien. Auch der Mond, bei Tage durch ein umkehrendes Fernrohr betrachtet, erscheint, wie SCHWEIZER bemerkt, zuweilen in verkehrtem Relief.

SCHROEDER macht noch auf einige andere Täuschungen ähnlicher Art aufmerksam. Wenn wir ein rechteckiges Streifen Papier auf eine horizontale Tischplatte legen und schräg von oben her mit einer umkehrenden Linse besehen, so sollte bei richtiger Umkehrung der obere Rand des Bildes vom Papier und der Tischplatte dem Beobachter näher erscheinen, der untere ferner. Der Regel nach verhält es sich umgekehrt, wir glauben vielmehr den Tisch und das Papier in ihrer wirklichen Richtung zu sehen, und wenn eine feine Nadel schräg in das Papier eingestochen wird, von der eine passend gestellte Lampenflamme einen scharf begrenzten Schlagschatten wirft, so erscheint uns vermöge derselben Umkehrung oft das Bild des Schattens als das der Nadel und umgekehrt. BREWSTER bemerkt, daß bei dieser Art der Täuschung ein in die Ebene eingeschnittenes Intaglio wegen der Umkehrung leicht als Relief hervortritt, weil man die nähere Seite desselben für die entferntere hält.

Von noch größerer Wichtigkeit, als die verschiedenartige Beleuchtung⁶²⁹ der Flächen eines Körpers je nach ihrer Neigung gegen die einfallenden Strahlen, sind die Schlagschatten. Wenn wir eine erleuchtete Fläche sehen, so muß sich der leuchtende Körper vor dieser Fläche befinden, und wenn ein Schlagschatten auf sie fällt, so muß sich der Schatten werfende Körper ebenfalls vor der Fläche befinden, die den Schatten empfängt. (Vor und hinter ist hier in Beziehung auf die Fläche zu nehmen, nicht in Beziehung auf die Stellung des Beobachters.) Dadurch ist also eine gewisse geometrische Beziehung des Schatten werfenden Körpers zur beschatteten Fläche unzweideutig festgestellt. Eine wie entscheidende Rolle die Schlagschatten in der Deutung der Gesichterscheinungen spielen, werden wir später bei den pseudoskopischen Erscheinungen noch ersehen. Auch ist allgemein bekannt, eine wieviel deutlichere Vorstellung eine gut schattirte Zeichnung von einem Gegenstande giebt, als eine, die bloß seine Umrisse darstellt; wie viel vortheilhafter für eine Landschaft, namentlich wenn man sie aus der Höhe sieht, die Beleuchtung des Sonnenaufgangs und Sonnenuntergangs ist, als die der hochstehenden Sonne. Es kommen hier nicht bloß die reicheren Farben in Betracht, welche die tief stehende Sonne giebt, sondern auch namentlich die bessere Modellirung der Formen des Terrains, welche durch die reichere Schattirung entsteht. Im Allgemeinen sind ja wenige Abhänge so steil, daß sie bei hoch stehender Sonne nicht beleuchtet wären. In der Mittagsbeleuchtung ist daher mit wenigen Ausnahmen alles hell und

¹ D. BREWSTER, *Athenaeum* 1860, 2, p. 24; *Rep. of Brit. Assoc.* 1860, 2 p. 7—8.

wenig Schatten vorhanden; die Formen der Berge und Thäler, wo sie nicht sehr schroff sind, sind deshalb wenig deutlich. Wenn dagegen die Sonne schräg steht und viele Abwechslung von Licht und Schatten giebt, so wird alles viel deutlicher und verständlicher.

Ein weiteres von der Beleuchtung hergenommenes Moment für die Beurtheilung der Entfernung namentlich entfernterer Gegenstände giebt die sogenannte Luftperspective. Wir verstehen darunter die Trübung und Farbenveränderung des Bildes ferner Objecte, welche durch die unvollkommene Durchsichtigkeit der vor ihnen liegenden Luftschicht bewirkt wird. Die Luft, wenn sie schwach mit Wassernebel gefüllt ist, wie es in ihren tieferen Schichten, namentlich in der Nähe großer Wasserflächen, gewöhnlich der Fall ist, wirkt wie ein trübes Medium, welches beleuchtet vor dunklem Hintergrunde selbst bläulich erscheint, eindringendes Licht heller Objecte aber mit röthlicher Farbe durchläßt. Je dicker die Luftschicht zwischen dem Auge des Beobachters und dem fernen Objecte ist, desto stärker wird dessen Farbe verändert, entweder in das Bläuliche, wenn es dunkler, oder in das Röthliche, wenn es heller als die vorliegende Luftschicht ist. So erscheinen ferne Berge blau, die untergehende Sonne roth.

Den Einfluß, den die Luftperspective auf unser Urtheil ausübt, können wir leicht bemerken, wenn die Luft ungewöhnlich klar oder ungewöhnlich trüb ist. Im ersteren Falle erscheinen ferne Bergreihen sehr viel näher und kleiner, im zweiten ferner und größer als gewöhnlich. Für den Bewohner der Ebene beruht darauf eine gewöhnliche Art der Täuschung, wenn er in das Hochgebirge kommt. In der Ebene, namentlich in der Nähe
630 großer Wasserflächen, ist die Luft gewöhnlich trüb, im Hochgebirge gewöhnlich außerordentlich durchsichtig. So erscheinen denn dem Reisenden entfernte Berggipfel, namentlich wenn sie mit Schnee bedeckt im Sonnenschein glänzen, so klar, wie er sonst nur nahe Gegenstände gesehen hat, und er schätzt deshalb im Allgemeinen alle Distanzen und Höhen viel zu klein, bis er, ihre Dimensionen selbst durchmessend, durch Anstrengung und Erfahrung eines Bessern belehrt wird.

Hierher gehört auch die berühmte Frage, warum der Mond nahe dem Horizonte größer aussieht, als wenn er hoch am Himmel steht, trotzdem er wegen der atmosphärischen Strahlenbrechung im verticalen Durchmesser dort eigentlich kleiner aussehen sollte. Dafs er am Horizonte größer erscheint, weil er uns dort weiter entfernt erscheint, haben schon PTOLEMAEUS und die arabischen Astronomen¹ richtig gewußt. Die eigentliche Frage ist also, warum erscheint uns das Himmelsgewölbe am Horizonte entfernter als im Zenith. Es sind eine Menge Motive dafür angeführt worden, warum dies so sei; ich glaube auch, dafs nicht nur eines, sondern viele verschiedene Motive dahin zusammenwirken, wobei freilich schwer auszumitteln ist, welches das überwiegende in jedem einzelnen Falle sei.

¹ MONTUCLA *Histoire des Mathém.* Vol. I, p. 309 u. 352. — ROGERI BACONIS *Perspect.*, p. 118. — PORTA, *De refractione*, p. 24, 128. — PRIESTLEY, *Geschichte der Optik.* Periode 6, Kap. 8.

Zunächst ist zu bedenken, daß kein entscheidender Grund da ist, warum der Sternenhimmel uns als eine regelmässige Kugelfläche erscheinen sollte. Er zeigt unendlich entfernte Objecte; daraus folgt nur, daß er als irgend welche Fläche von unbestimmter Form erscheinen kann, wenn irgend welche andere Motive ihm eine solche zuweisen. Wenn wir im leeren Raume schwebten und den Sternenhimmel gleichzeitig und gleichmässig in seiner ganzen Ausdehnung überschauen könnten, oder wenn seine Bewegung so schnell wäre, daß wir eine wirkliche sinnliche Anschauung davon erhalten könnten, möchte mehr Grund sein, ihn gerade als Kugelfläche anzuschauen. So aber ist in der That seine scheinbare Richtung und Gestalt eine sehr wechselnde, je nachdem das Stück, was wir von ihm sehen, von verschiedenen irdischen Gegenständen eingefasst ist, und wir einen höheren oder tieferen Punkt fixiren. Wir werden später noch sehen, daß wir eine Neigung haben, ihn bei ruhiger binocularer Fixation eines Punktes für eine auf die jedesmaligen Blicklinien senkrechte Ebene zu halten.

Ganz anders ist es mit dem Wolkenhimmel. Die Wolken sind meistens zwar auch weit genug von uns entfernt, daß wir mittels der Erkennungsmittel, welche das zweiäugige Sehen und die Bewegung unseres Körpers uns gewähren, nichts oder so gut wie nichts über ihre Entfernung ausmachen können. Aber sie sind oft parallelstreifig, sie bewegen sich meistens in gleicher Richtung und mit constanter Geschwindigkeit über das Himmelsgewölbe hin, sie erscheinen in der Nähe des Horizontes strichförmig, von der hohen Kante gesehen und so beleuchtet, daß man sie als perspectivisch verkürzte horizontal gedehnte Körper erkennen kann. Alles das kann dazu dienen, uns erkennen zu machen, daß die wahre Form des Wolkenhimmels wenigstens im Zenith ein sehr plattes Gewölbe ist. Am Horizont freilich verlassen uns diese Hilfsmittel, und da erscheinen dann die Wolken wie die Berge gleichmässig auf eine von unten nach oben ansteigende und allmählig sowohl in den Erdboden, wie in das Himmelsgewölbe übergehende Fläche gemalt zu sein. Da wir nun kein Mittel der sinnlichen Anschauung haben, um die Entfernung des Wolkenhimmels von der des Sternenhimmels zu trennen, so scheint es nur natürlich, daß wir dem letzteren die wirkliche Form des ersteren, so weit wir sie unterscheiden können, mit zuschreiben, und daß auf diese Weise die doch immer sehr vage, unbestimmte und veränderliche Vorstellung von der flach kuppelförmigen Wölbung des Himmels entsteht. 631

Recht entschieden und überraschend tritt übrigens die Vergrößerung des Mondes oder der Sonne nur dann auf, wenn die Luft am Horizont recht dunstig ist und die genannten Himmelskörper nur noch eine geringe Lichtstärke zeigen. Dann haben wir an ihnen dieselbe Wirkung wie an fernen Bergen, sie sehen viel entfernter als bei klarer Luft und deshalb größer aus. Auch verstärken passende irdische Objecte am Horizont die Wirkung sehr. Wenn der Mond zum Beispiel neben oder hinter einer etwa zwei tausend Fufs entfernten Baumkrone untergeht, welche selbst 20 Fufs Durch-

messer hat, so erscheint er unter demselben Gesichtswinkel, aber viel weiter entfernt, also auch viel größer als der Baum; während er hinter flachem Horizonte untergehend keinen Gegenstand zur Vergleichung findet, an dem wir erkennen könnten, daß seine geringe scheinbare Größe einer sehr bedeutenden absoluten Größe entspricht.

Wenn man mittels einer planparallelen Glastafel ein Reflexbild des Mondes entwirft, welches scheinbar nahe am Horizonte gelegen ist, so finde ich nicht, daß dasselbe entschieden größer aussieht, als der direct gesehene Mond oben am Himmel, obgleich man die scheinbare Größe des reflectirten Mondes dann leicht mit den gleichzeitig gesehenen irdischen Körpern vergleichen kann. Es fehlt aber dem Spiegelbilde das Aussehen, als sei es durch den dunstigen Theil der Atmosphäre gesehen.

Auch scheint mir, daß die scheinbare Vergrößerung am Horizonte viel bemerklicher am Monde auftritt, als an der Sonne, die, wenn man ihre Gestalt überhaupt noch erkennen kann, gewöhnlich auch noch hell genug ist, daß man sie nicht ganz bequem betrachten kann, und daß sie also auch nicht unmittelbar mit den irdischen Objecten des Horizonts auf eine Linie gestellt werden kann. Bei recht klarem Himmel ist aber die Täuschung auch für den Mond nicht gerade sehr evident. Sie hängt immer in sehr hohem Grade vom Zustande der Atmosphäre ab.

Die bisher genannten Motive sind es allein, welche die Maler benutzen können, um durch flächenhafte Zeichnungen und Gemälde eine Vorstellung von den dargestellten körperlichen Objecten zu geben. Leichter ist ihre Aufgabe, wo es sich um Objecte von wohlbekannter oder von geometrisch regelmäßiger Form handelt, ersteres namentlich bei menschlichen und thierischen Gestalten, letzteres bei Häusern, Geräthen und anderen Erzeugnissen menschlichen Kunstfleißes. Bei solchen ist eine richtige perspectivische Zeichnung schon meistens ausreichend und kann durch eine richtige Schattengebung sehr lebendig gemacht werden. In der Kunst der kräftigen Schattengebung, welche die Körperform so sehr deutlich heraustreten läßt, sind bekanntlich die alten Meister des Porträtirens so ausgezeichnet gewesen. Ein allseitig beleuchtetes, schwach beschattetes Gesicht, noch so richtig dargestellt, giebt einen lebhaften Eindruck allenfalls, so lange man die dargestellte Person noch oft sieht, aber es verliert seine Lebendigkeit bald, wenn dies nicht mehr geschieht. Schwieriger ist die Aufgabe des Malers, wenn er Naturgegenstände von unregelmäßiger Form darzustellen hat, Landschaften, Berge, Felsen. Die Staffage mit Menschen, Thieren, Bäumen, Häusern giebt dann ein wichtiges äußerliches Hilfsmittel ab, um die Entfernung der dargestellten Objecte ungefähr zu bezeichnen. Luftperspective aber und Schatten sind die Hauptmittel. Daher ist nicht jede Beleuchtung einer Landschaft zur Darstellung geeignet. Ein gewisser Grad der Trübung der Luft und eine niedrig stehende Sonne, welche viel Wechsel von Schatten und Licht hervorbringt, sind wesentliche Erfordernisse, um nur die Formen der Landschaft deutlich werden zu lassen, abgesehen von

den reicheren und mannigfacheren Färbungen, die auch ihre Schönheit erhöhen.

Die bisher beschriebenen Motive der Tiefenanschauung sind auch in psychologischer Beziehung interessant und wichtig, weil sie zeigen, welchen Einfluß die Erfahrung auf unsere scheinbar ganz unmittelbar und ohne Hilfe geistiger Thätigkeiten gewonnenen Sinneswahrnehmungen hat. Die Gesetze der Beleuchtung, des Schlagschattens, der Lufttrübung, der perspectivischen Darstellung und Deckung verschiedener Körper, die Größe der Menschen und Thiere u. s. w. können wir erst durch Erfahrung kennen gelernt haben; wenigstens hat noch kein Vertheidiger der angeborenen Anschauungen ihre angeborene Ursprünglichkeit zu behaupten gewagt, und für einige derselben, welche längere Einübung erfordern, kann man, wie oben bemerkt, bei Kindern direct nachweisen, daß sie nicht angeboren sind. Und doch genügen diese Momente in vielen Verhältnissen, um eine Anschauung der räumlichen Formen und Verhältnisse von vollkommener sinnlicher Lebhaftigkeit hervorzurufen, ohne daß irgend ein Bewußtsein davon in uns rege wird, wie hierbei die Vergleichung des jetzigen Eindrucks mit früheren Eindrücken ähnlicher Art in das Spiel kommt. Das gegenwärtige Bild ruft in uns wach die Erinnerung an alles, was in früheren Gesichtsbildern Aehnliches sich gefunden hat, und auch an alles, was von sonstigen Erfahrungen mit diesen früheren Gesichtsbildern regelmäÙig verbunden war, also zum Beispiel die Anzahl von Schritten, die wir haben machen müssen, um an einen Menschen heranzukommen, dessen Erscheinung im Gesichtsfelde eine gewisse Größe gehabt hatte u. s. w. Diese Art der Association der Vorstellungen geschieht nicht bewußt und nicht willkürlich, sondern wie durch eine blinde Naturgewalt, wenn auch nach den Gesetzen unseres eigenen Geistes, und sie tritt deshalb in unseren Wahrnehmungen ebenso gut als eine äußere uns zwingende Macht auf, wie die von außen kommenden Eindrücke, und was wir daher vermittels dieser auf die gesammelten Erfahrungen sich stützenden Ideenassociationen den gegenwärtigen Empfindungen hinzufügen, erscheint ebenso gut, wie letztere, uns ohne Willkür und ohne bewußte Thätigkeit von unserer Seite als unmittelbar gegeben, also als unmittelbare Wahrnehmung, während es doch nur zu den Vorstellungen zu rechnen ist. 633

Besonders interessant sind hierbei solche Fälle, wie die Täuschungen über das Relief von Medaillen, von perspectivischen Zeichnungen und andere ähnliche, wo ein Schwanken zwischen zwei Deutungen möglich ist. Hier finden wir, daß wir beim ersten Anblick in eine dieser Deutungen unwillkürlich verfallen, und zwar der Regel nach wohl in diejenige, welche die größte Anzahl ähnlicher Erinnerungsbilder zurückruft, wie bei den Reliefs von menschlichen Gesichtern, wo wir der Regel nach die der Wirklichkeit entsprechende convexe Form zu sehen glauben. In andern Fällen schwankt es unwillkürlich, wie bei SINSTEDEN'S Windmühle, wenn durch äußere Zufälligkeiten oder Bewegungen des Auges bald diese bald jene Aehnlichkeit uns näher tritt. Aber wir können auch absichtlich einen Wechsel der

Deutung hervorbringen, wenn wir die Vorstellung der entgegengesetzten Figur möglichst lebhaft in uns aufrufen, bis deren Aehnlichkeit mit dem eben angeschauten Gesichtsbilde sich geltend macht, wo sie dann von selbst und ohne weitere Anstrengung stehen bleibt. Während der Zeit aber, wo sie stehen bleibt, besteht sie mit der vollen Energie sinnlicher Gewissheit, und wenn sich in Folge irgend eines wechselnden Umstandes die entgegengesetzte Deutung wieder hervorbringt, hat auch diese wiederum dieselbe Deutlichkeit und Sicherheit, wenn auch das selbstbewusste Denken nun aufmerksam wird, dafs es mit einer zweideutigen Anschauung zu thun hat.

Wir gehen jetzt über zur zweiten Klasse der Momente, auf welche sich die Tiefenwahrnehmung stützt, solche nämlich, denen bestimmte sinnliche Empfindungen zu Grunde liegen. Unter ihnen ist zuerst zu erörtern, wie viel die Accommodation des Auges leisten kann. Es ist kein Zweifel darüber, dafs Jemand, der seine Accommodationsänderungen viel beobachtet hat und das Muskelgefühl der dazu gehörigen Anstrengung kennt, im Stande ist anzugeben, ob er bei der Fixirung eines Gegenstandes oder eines optischen Bildes für grofse oder kleine Sehweiten accommodirt. Aber die Beurtheilung der Entfernung mittels dieses Hilfsmittels ist äufserst unvollkommen. WUNDT¹ hat darüber Versuche angestellt, indem er den Beobachter mit einem Auge durch eine Oeffnung eines feststehenden Schirms nach einem vertical ausgespannten schwarzen Faden hinblicken liefs. Eine weifse Tafel bildete den Hintergrund. Der Faden konnte längs einer horizontal liegenden Scale verschoben und in gemessene Entfernungen vom Beobachter gestellt werden. Ueber seine absolute Entfernung konnten dabei so gut wie gar keine Angaben gemacht werden; wohl aber zeigte es sich, dafs, wenn dem Faden nach einander zwei verschiedene Stellungen gegeben wurden, mittels der veränderten Accommodation erkannt werden konnte, ob sich der Faden entfernt oder genähert habe. Doch wurde dabei eine Annäherung des Fadens, wobei die active Muskelanstrengung des Accommodationsapparats zunehmen muss, deutlicher erkannt, als eine Entfernung desselben. Die bei den Versuchen eintretende Ermüdung des Auges bewirkte eine wachsende Unsicherheit in der Wahrnehmung auch der Annäherungen. WUNDT giebt folgende Resultate seiner Versuche:

Entfernung des Fadens vom Auge	Unterscheidungsgrenze	
	für Annäherung	für Entfernung
250 Ctm.	12 Ctm.	12 Ctm.
220 „	10 „	12 „
200 „	8 „	12 „
180 „	8 „	12 „
100 „	8 „	11 „
80 „	5 „	7 „
50 „	4,5 „	6,5 „
40 „	4,5 „	4,5 „

¹ W. WUNDT, *Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung*. Leipzig und Heidelberg 1862. S. 105–118.

Wenn zwei Fäden in verschiedener Entfernung gleichzeitig ausgespannt wurden, ergaben sich dieselben Resultate wie für die Annäherung eines Fadens.

Ich habe am Ende einer innen geschwärzten Röhre einen schwarzen Schirm mit zwei senkrechten Spalten angebracht, dann den einen mit einem rothen, den andern mit einem blauen Glase geschlossen. Ich bedurfte einer erheblich stärkeren Accommodationsanstrengung, um den rothen Streifen deutlich zu sehen, als für den blauen. Nach langen Vergleichen beider Streifen entstand auch endlich der Eindruck, als wäre der rothe Streifen näher, der blaue ferner, aber die Täuschung trat schwer ein und schwand leicht wieder, sie liefs sich nur durch fortdauernd wechselnde Accommodation für den einen und den andern Streifen unterhalten. Die Täuschung liefs sich dadurch unterstützen, dafs ich den rothen Streifen etwas breiter machte und ihm auch dadurch das Ansehen eines näheren Objectes gab.

Wichtiger aber und genauer als die genannten Hilfsmittel, die Entfernungen zu schätzen, ist die Vergleichung der perspectivischen Bilder, welche derselbe Gegenstand, von verschiedenen Standpunkten aus gesehen, darbietet. Eine solche Vergleichung kann praktisch in doppelter Weise zu Stande kommen, entweder monocular bei Fortbewegung des Kopfes und Körpers, oder binocular mittels der beiden verschiedenen Bilder, welche beide Augen gleichzeitig von demselben Gegenstande geben. Da die beiden Augen etwas verschiedenen Ort im Raume haben, so sehen sie auch die vor uns liegenden Gegenstände von zwei etwas verschiedenen Gesichtspunkten aus und erzeugen dadurch eine ähnliche Verschiedenheit der Bilder, wie sie durch Fortbewegung im Raume nach einander hervorgebracht wird.

Wenn wir vorwärts gehen, so bleiben die Gegenstände, welche sich am Wege ruhend befinden, hinter uns zurück; sie gleiten in unserem Gesichtsfelde scheinbar an uns vorbei, und zwar in entgegengesetzter Richtung, als wir fortschreiten. Entferntere Gegenstände thun dasselbe, aber langsamer, während sehr entfernte Gegenstände, wie die Sterne, ruhig ihren Platz im Gesichtsfelde behaupten, so lange wir die Richtung unseres Körpers und Kopfes beibehalten. Es ist leicht ersichtlich, dafs die scheinbare Geschwindigkeit der Winkelverschiebungen der Gegenstände im Gesichtsfelde hierbei ihrer wahren Entfernung umgekehrt proportional sein mufs, so dafs aus der Geschwindigkeit der scheinbaren Bewegung sichere Schlüsse auf die wahre Entfernung gemacht werden können. 635

Die Gegenstände verschiedener Entfernung verschieben sich dabei auch scheinbar gegen einander. Die entfernteren gehen im Vergleich zu den näheren scheinbar in Richtung des Beobachters vorwärts, die näheren umgekehrt scheinbar zurück. Dadurch entsteht eine sehr deutliche Anschauung ihrer verschiedenen Entfernung. Wenn man zum Beispiel in einem dichten Walde still steht, ist es nur in undeutlicher und gröberer Weise möglich, das Gewirr der Blätter und Zweige, welches man vor sich hat, zu trennen und zu unterscheiden, welche diesem und jenem Baume angehören,

in welcher Entfernung die einzelnen hinter einander sich befinden u. s. w. So wie man aber sich fortbewegt, löst sich alles von einander, und man bekommt sogleich eine körperliche Raumanschauung von dem Walde, gerade so, als wenn man ein gutes stereoskopisches Bild desselben ansähe.

Auch ist leicht einzusehen, daß sich durch diese scheinbaren Verschiebungen der einzelnen Stämme, Aeste und Blätter gegen einander der wirkliche Wald im unmittelbaren sinnlichen Eindrucke durchaus unterscheiden muß von jedem noch so vollkommenen Gemälde dieses Waldes. Wenn wir an der ebenen Fläche des Gemäldes uns vorüberbewegen, bleibt die scheinbare Lage aller Theile desselben gegen einander im Gesichtsfelde durchaus die gleiche. Die, welche entfernte Objecte darstellen, verschieben sich gegen den Beobachter durchaus in derselben Weise, als benachbarte Theile, welche nahen Objecten entsprechen. Ein Gemälde kann immer nur den Anblick des Gegenstandes von einem einzigen festen Gesichtspunkte aus gesehen darstellen; wollen wir durch dasselbe eine möglichst vollkommene Täuschung hervorrufen, so muß auch der Beschauer seinen Standpunkt unverändert beibehalten. Jede Bewegung läßt sogleich den Unterschied zwischen dem Urbilde und dem Abbilde in sinnlicher Erscheinung hervortreten.

Nähere Gegenstände bewegen sich schneller, entferntere langsamer. Wenn wir selbst uns ungewöhnlich schnell bewegen, zum Beispiel in Eisenbahnzügen, so erscheinen uns die schnell vorübergleitenden Gegenstände deshalb leicht zu nah, und in Folge dessen auch kleiner, als sie sind. Es ist dies eine Gesichtstäuschung, welche von vielen Personen beobachtet und beschrieben wird¹. Ich selbst habe diese Verkleinerung niemals recht deutlich sehen können, wie es denn viele solche Täuschungen giebt, welche bei der Gewohnheit größerer Aufmerksamkeit auf die Gesichterscheinungen von selbst schwinden, weil der Beobachter sich in seinem Urtheil von den störenden Einflüssen unabhängig zu machen lernt.

Auch bei wissenschaftlichen Beobachtungen kann man die scheinbaren relativen Verschiebungen verschieden entfernter Gegenstände oft benutzen. Soll man zum Beispiel das Fadenkreuz eines Fernrohrs auf das Bild des Objectes genau einstellen, so bewege man das Auge hinter dem Ocular ein wenig hin und her, von rechts nach links und zurück. Man wird dann 636 sogleich sehen, ob das Fadenkreuz dabei im Verhältniß zum Bilde still steht oder sich verschiebt. Im ersten Falle fällt es mit dem Bilde zusammen. Im zweiten ist es vor oder hinter ihm; und welches von beiden der Fall sei, ergibt sich ebenfalls sogleich.

Die Bestimmungen der Fixsternparallaxen beruhen bekanntlich auf derselben scheinbaren Verschiebung, wobei nur als Mittel der Fortbewegung des Beobachters die Bewegung der Erde um die Sonne benutzt wird.

Ich glaube auch, daß die Veränderungen des Retinalbildes bei Bewegungen des Körpers es hauptsächlich sind, wodurch einäugige Personen

¹ DOVE in *Poggendorff's Annalen* 1847. LXXI, S. 118.

sich richtige Anschauungen von den körperlichen Formen der Umgebungen verschaffen. Wenn Jemand, der zwei gesunde Augen besitzt, eines derselben schließt und unregelmäßig gestaltete, unbekannte Gegenstände einäugig betrachtet, so erhält er eine falsche oder mindestens unsichere Vorstellung von ihrer Form. So wie er sich aber bewegt, gewinnt er sogleich die richtigen Anschauungen.

Auch vergesse man nicht, worauf bisher noch nicht immer der nöthige Nachdruck gelegt worden ist, daß in allen physiologisch-optischen Versuchen, wo es sich um Beurtheilung der Entfernung eines irgend wie gesehenen Objectes oder Bildes handelt, wohl darauf zu achten ist, daß der Kopf seine Lage gegen das Gesehene nicht ändere, sonst tritt sogleich eine verhältnißmäßig gute und genaue Bestimmung der wirklichen Entfernung durch die dabei beobachtete Verschiebung ein.

Bei den bisher besprochenen Aenderungen des Retinalbildes durch Bewegung entsteht eine Anschauung von den Entfernungsunterschieden nur dadurch, daß das augenblicklich bestehende Bild verglichen wird mit den in der Erinnerung bewahrten unmittelbar vorhergegangenen Bildern im Auge. Wir haben schon in der Lehre vom Contrast hervorgehoben, daß eine Vergleichung mittels der Erinnerung viel unsicherer zu sein pflegt, als eine Vergleichung zweier gegenwärtiger sinnlicher Eindrücke. So ist nun auch die Beurtheilung der Entfernungen mittels der gleichzeitigen Bilder beider Augen viel vollkommener, sicherer und genauer, als sie durch Bewegungen wenigstens innerhalb so geringer Distanzen, wie die Entfernung der Augen von einander ist, gewonnen werden kann.

Jedes einzelne Auge zeigt uns ein perspectivisches Bild der vor uns gelegenen Gegenstände. Da aber beide Augen nicht denselben Platz im Raume einnehmen, also die Objecte von etwas verschiedenen Gesichtspunkten aus betrachten, so sind die beiden perspectivischen Bilder, welche sie von ihnen entwerfen, auch etwas von einander verschieden. Wenn ich ein Blatt Papier so vor mich halte, daß es in die verlängerte Mittelebene meines Kopfes fällt, so sehe ich mit dem rechten Auge die rechte Seite des Papiers, mit dem linken die linke. Das entferntere Ende dieses Papiers erscheint im Bilde meines rechten Auges rechts, in dem des linken links von dem näheren zu liegen. Ähnliche Unterschiede, mehr oder weniger merklich, wird man bei genauerer Aufmerksamkeit viele finden, so oft man mit beiden Augen eine Anzahl verschieden entfernter Gegenstände betrachtet. Es sind Unterschiede derselben Art und Größe, wie sie entstehen, wenn man das Gesichtsfeld einäugig ansieht, das Auge aber fortbewegt um eine Strecke, welche der Entfernung beider Augen von einander gleich ist.

Betrachtet man dagegen eine ebene Zeichnung oder ein ebenes Gemälde, 637 so erhalten beide Augen dadurch durchaus dasselbe Netzhautbild (abgesehen etwa von den perspectivischen Verzerrungen, die die Ebene des Gemäldes selbst in den beiden Netzhautbildern erleiden kann), während der im Gemälde dargestellte Gegenstand, wenn er nicht selbst eben ist, nothwendig

in beiden Augen verschiedene Netzhautbilder hervorrufen würde. Dadurch ist also wiederum in der unmittelbaren sinnlichen Anschauung ein Kennzeichen gegeben, wodurch sich der Anblick eines jeden nach drei Dimensionen ausgedehnten Objects unterscheiden muß von dem Anblick eines ebenen Bildes desselben Objects.

Auch ist klar, dafs, wenn der Ort der beiden Netzhautbilder eines leuchtenden Punktes gegeben ist, daraus für die wissenschaftliche Untersuchung wenigstens, wenn auch noch nicht nothwendig für das gemeine Bewusstsein, unzweideutig der Ort des leuchtenden Punktes gefunden werden kann. Man lege durch jedes Netzhautbild und den Knotenpunkt des betreffenden Auges eine gerade Linie, so muß, wie wir früher gezeigt haben, der leuchtende Punkt selbst in jeder dieser beiden Richtungslinien liegen. Also liegt er, wo sich beide schneiden.

Während also durch das einäugige Sehen bei ruhendem Kopfe nur die Richtung, in welcher der gesehene Punkt sich befindet, bestimmt ist, giebt das zweiäugige Sehen hinreichende Beobachtungsthatfachen, dafs aus ihnen auch die Entfernung des gesehenen Punktes bestimmt werden kann, wenigstens insoweit, als die vorhandenen Data hinreichende Genauigkeit dazu haben und zu dem angegebenen Ende zweckmäfsig benutzt werden. Im Allgemeinen ist die Genauigkeit in der Bestimmung der Entfernung desto kleiner, je gröfser diese selbst ist, da weit entfernte Gegenstände in beiden Augen nicht mehr merklich verschiedene Bilder geben.

Dafs nun in der That auf diesem Wege aufserordentlich genaue und deutliche sinnliche Anschauungen der Entfernungen gewonnen werden, läfst sich mittels der stereoskopischen Bilder zeigen; es sind dies Bilder, von denen je zwei zusammengehörige die beiden Ansichten darstellen, welche das rechte und das linke Auge desselben Beobachters von dem dargestellten Objecte haben.

Wir haben gesehen, dafs ein einzelnes ebenes Bild, mit beiden Augen gesehen, stets einen andern Eindruck machen muß, als der Gegenstand des Bildes, selbst gesehen, machen würde. Wenn wir nun aber beiden Augen verschiedene Bilder zeigen, einem jeden dasjenige, welches es bei Betrachtung des Gegenstandes selbst wirklich gesehen haben würde, so sind wir im Stande, denselben Eindruck auf beiden Netzhäuten hervorzurufen, den der räumlich ausgedehnte Gegenstand wirklich gemacht haben würde, und unter diesen Umständen gewinnen wir durch die beiden Bilder in der That dieselbe Anschauung der körperlichen Form, wie bei wirklicher Betrachtung des Gegenstandes selbst.

Zwei Bilder, welche einen stereoskopischen Effect machen sollen, müssen also zwei verschiedenen perspectivischen Ansichten desselben Gegenstandes entsprechen, welche von verschiedenen Gesichtspunkten aus aufgenommen sind. Sie dürfen einander also nicht gleich sein, vielmehr müssen, verglichen mit den Bildern unendlich entfernter Punkte, die Bilder näherer Punkte in der Zeichnung für das rechte Auge desto mehr nach links hin, in dem Bilde

für das linke Auge desto mehr nach rechts hin liegen, je näher die Objecte dem Beobachter sind. Denkt man sich also die Zeichnungen so aufeinander gelegt, daß die Bilder der unendlich entfernten Gegenstände aufeinander fallen, so werden die Bilder der näheren Objecte desto weiter auseinander fallen, je näher sie sind. Ihre Distanz kann man die stereoskopische Parallaxe nennen. Diese ist positiv, wenn die näheren Punkte für das rechte Auge nach links, für das linke nach rechts abweichen. Die stereoskopische Parallaxe ist gleich groß für Objecte, welche gleichen Abstand von der Ebene der Zeichnung haben.

Sind keine unendlich entfernten Objecte in der Zeichnung dargestellt, so kann man nur die Unterschiede der stereoskopischen Parallaxe ermitteln in Bezug auf irgend welchen beliebigen Punkt des Objects. Die Parallaxe in Bezug auf solchen Ausgangspunkt ist dann positiv für die näheren, negativ für die entfernteren übrigen Punkte.

Nennen wir den Abstand der Augen $2a$, den Abstand der Zeichnung von den Augen b , den Abstand des Objects von einer parallel der Zeichnung durch die Augen gelegten Ebene ρ , und e die stereoskopische Parallaxe, so ist diese

$$e = \frac{2ab}{\rho},$$

wird also desto kleiner, je entfernter das Object, und für unendlich entfernte Objecte gleich Null.

Die zusammengehörigen stereoskopischen Bilder müssen bei einem solchen Versuche so vor die beiden Augen gebracht werden, daß die unendlich entfernten Punkte darin beiden Augen in derselben Richtung erscheinen. Man kann dies ohne Instrument erreichen, wenn man beide Bilder neben einander legt, eins rechts, das andere links, so daß zusammengehörige Punkte derselben etwa so weit von einander entfernt sind, als die Knotenpunkte der beiden Augen des Beobachters. Wenn der Beobachter sich dann mit parallel gerichteten Gesichtslinien vor die Bilder stellt, so sieht er sie beide mit beiden Augen in gleicher Richtung und die stereoskopische Täuschung tritt ein. Freilich sieht er hierbei mit dem rechten Auge nicht bloß das rechte Bild, sondern links daneben auch noch das für das linke Auge bestimmte Bild, und ebenso mit dem linken Auge nicht bloß das letztere Bild, sondern rechts daneben auch noch das andere. Wenn die richtige Stellung der Augen gefunden ist, sieht der Beobachter also neben einander scheinbar drei Bilder, von denen die beiden äußern nur mit je einem Auge gesehen sind (das rechte vom linken, das linke vom rechten Auge) und nicht körperlich erscheinen, das mittlere beiden Augen zugleich angehört und körperlich erscheint.

Bei dem beschriebenen Versuche ist die Anwesenheit der drei Bilder störend; außerdem muß man für die Nähe accommodiren, während man die Gesichtslinien parallel einstellt, wie es beim Betrachten ferner Gegenstände

der Fall ist, und wobei man gewöhnt ist die Accommodation für die Ferne einzurichten. Deshalb gehört einige Uebung dazu, ehe man in dieser Weise ohne weitere Hilfsmittel stereoskopisch sehen lernt. Uebrigens ist die dabei entstehende Gesichtstäuschung ebenso vollkommen, wie bei der Anwendung
 639 der gleich zu beschreibenden Instrumente. Ungeübte erleichtern sich das Gelingen des Versuchs, wenn sie nach den beiden Zeichnungen durch zwei innen geschwärzte Röhren blicken, weil dann die Nebenbilder fortfallen, und wenn sie dabei den beiden Zeichnungen eine geringere Distanz geben, als die der Augen ist. Bei einiger Uebung gelingt es auch ohne solche Hilfe; und es ist dies sogar die bequemste Art, große Mengen stereoskopischer Bilder hinter einander durchzusehen. Statt die Gesichtslinien nach einem weit entfernten Punkte einander nahehin parallel zu richten, kann man sie auch nach einem näheren Punkte convergiren lassen und die stereoskopischen Bilder zur Deckung bringen, indem man das rechte Auge nach dem linken, das linke nach dem rechten Bilde hinwendet, wobei ihre Blicklinien sich also zwischen den Bildern und dem Beobachter schneiden. Die Stellung der Augen ist dabei also so, als wenn man diesen Schnittpunkt fixirte, und dort, also den Augen näher, als die Bilder wirklich sind, erscheint auch der stereoskopisch gesehene Gegenstand. Bei diesem Versuche muß man aber natürlich auch das für das rechte Auge bestimmte Bild nach links legen, das für das linke nach rechts, sonst wird die stereoskopische Parallaxe negativ, und man bekommt verkehrtes Relief, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man zwei neben einander liegende Linienzeichnungen ohne Schattirung, zum Beispiel von Krystallmodellen bald mit ungekreuzten, bald mit gekreuzten Blicklinien combinirt.

Die Instrumente, welche unter dem Namen der Stereoskope zur Betrachtung der stereoskopischen Bilder gebraucht werden, haben nur zum Zweck, dem Beobachter die Auffindung und Erhaltung der richtigen Augenstellung zu erleichtern und die störenden Nebenumstände wegzuschaffen; für die Erzeugung der Gesichtstäuschung sind sie ohne wesentlichen Vortheil.

Das erste war das Stereoskop von WHEATSTONE, im Durchschnitte dargestellt in *Fig. 230*. Der wesentliche Theil des Instruments sind zwei Spiegel ab und $\alpha\beta$, welche unter 45° gegen den Horizont geneigt sind, und deren nach oben gekehrte Flächen spiegeln; cd und $\gamma\delta$ sind Brettchen, an denen die Zeichnungen angebracht werden. Der Beobachter, dessen Augen durch r und ρ

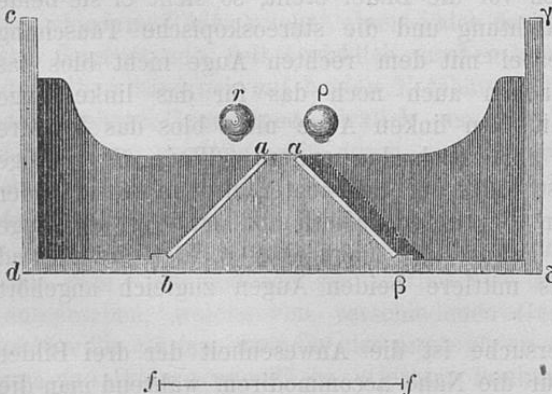


Fig. 230.

angedeutet sind, blickt von oben her in die Spiegel. Das Licht, was von cd kommt, wird vom Spiegel ab gegen das Auge r so reflectirt, als käme es von dem Spiegelbilde ff . Aber auch das von $\gamma\delta$ kommende Licht wird durch den Spiegel $\alpha\beta$ nach dem Auge ρ so reflectirt, als käme es vom Bilde ff . So glauben also beide Augen das betreffende Bild bei ff zu sehen, und wenn nun die beiden Bilder Unterschiede zeigen, wie sie ein bei f befindlicher Gegenstand zeigen würde, so entsteht derselbe sinnliche 640 Eindruck, als sähe der Beobachter bei ff nicht die Bilder, sondern den räumlich ausgedehnten Gegenstand. Da die Zeichnungen hierbei durch Spiegel gesehen werden, welche rechts in links verkehren, so müssen sie negative stereoskopische Parallaxe haben.

Das Stereoskop von BREWSTER, welches gegenwärtig am meisten verbreitet ist, enthält zwei Prismen p und π mit convexen Flächen, Stücke aus einer dicken Convexlinie von 0,18 Meter Brennweite, die optisch wirken wie die Combination eines ebenen Prisma mit einer Convexlinse. Die beiden Zeichnungen ab und $\alpha\beta$, Fig. 231, befinden sich nebeneinander auf demselben Blatte. Das rechte Auge r blickt durch das Prisma p nach der Zeichnung ab , das linke Auge ρ durch das Prisma π nach der Zeichnung $\alpha\beta$; die Scheidewand g hindert, daß jedes Auge die für das andere bestimmte Zeichnung sehen kann. Die von den Zeichnungen ausgehenden Strahlen cp und $\gamma\pi$ werden durch die Prismen in die Richtungen pr und $\pi\rho$, welche verlängert sich in q schneiden, gebrochen. Durch die convexen Flächen der Prismen werden die Strahlenbündel zugleich weniger divergent gemacht, so daß beide Augen ein Bild der zugehörigen Zeichnung in $f\varphi$ sehen. Das Object erscheint körperlich in der Lage $f\varphi$. Das Ganze ist in einen passenden Holzkasten eingeschlossen; um transparente Bilder betrachten zu können, befindet sich hinter den Zeichnungen $ab\alpha\beta$ eine mattgeschliffene Glasplatte. Die Bilder werden durch passende Spalte an den Seiten des Kastens bei a und β ein- und ausgeschoben.

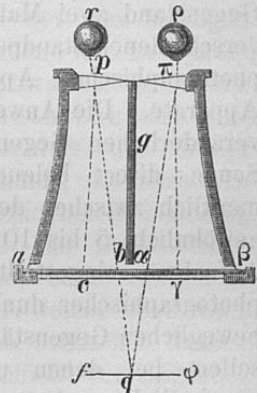


Fig. 231.

Das Stereoskop von BREWSTER ist viel compendiöser, als das von WHEATSTONE, man kann leichter eine gleichmäßige Beleuchtung beider Bilder bewirken und die Zeichnungen erscheinen vergrößert; doch ist zu bemerken, daß an den Grenzen von Hell und Dunkel schmale farbige Ränder auftreten, wenn die Prismen nicht achromatisch gemacht werden, was übrigens in manchen dieser Instrumente geschehen ist. Andere Formen von Stereoskopen werden weiter unter beschrieben werden.

Am schlagendsten treten die Wirkungen des Stereoskops hervor an Zeichnungen, welche nur Umrisse von Körpern und Flächen darstellen, wo alle weiteren Hilfsmittel der Täuschung, Farbe, Schatten u. s. w. fortfallen,

und doch die schwarzen Linien von der Fläche des Papiers vollkommen losgelöst und durch den Raum hingezogen erscheinen. Selbst die verwickeltesten stereometrischen Zeichnungen, Darstellungen von Krystallmodellen, die ohne Stereoskop gesehen kaum verständlich sind, lösen sich vollständig auf und erscheinen als räumliche Gebilde.

Während bei solchen Linienfiguren der Unterschied zwischen dem stereoskopischen und nicht stereoskopischen Anblicke am auffallendsten ist, ist die Lebhaftigkeit der Täuschung selbst natürlich am größten, wenn auch durch eine naturgetreue Schattirung die Körperform herausgehoben ist.

641 Doch ist es fast unmöglich, mit dem Bleistift oder dem Pinsel in der Schattirung von Zeichnungen die feinen Unterschiede beider Bilder genau wiederzugeben, welche dem Bilde des rechten und linken Auges entsprechen, und nur mit Hilfe der Photographie gelingt es, die genaue Uebereinstimmung beider Bilder zu erreichen, welche für einen guten stereoskopischen Eindruck nöthig ist. Da dergleichen stereoskopische Photographien jetzt überall im Handel zu haben sind, so darf ich voraussetzen, daß sie meinen Lesern allgemein bekannt sind. Sie werden angefertigt, indem man denselben Gegenstand zwei Mal photographisch abbildet, und zwar von zwei etwas verschiedenen Standpunkten aus. Entweder thut man es gleichzeitig mit zwei photographischen Apparaten oder schnell nach einander mit demselben Apparate. Die Anwendung von zwei Apparaten ist namentlich bei schnell veränderlichen Gegenständen nöthig. Schon wenn die Objecte von der Sonne direct beleuchtet sind, verschieben sich die Schlagschatten oft merklich zwischen der Aufnahme des ersten und zweiten Bildes, da doch gewöhnlich 5 bis 10 Minuten vergehen, ehe der Apparat für die zweite Aufnahme eingestellt ist. Noch nothwendiger ist die Anwendung zweier photographischer dunkler Kammern, wenn sogenannte instantane Bilder von beweglichen Gegenständen, Wellen, Schiffen, Pferden u. s. w. gemacht werden sollen, bei denen unter Benützung scharfer Sonnenbeleuchtung und sehr empfindlicher photographischer Präparate die Expositionszeit auf einen Bruchtheil einer Secunde beschränkt werden kann.

Die Naturwahrheit solcher stereoskopischer Photographien und die Lebhaftigkeit, mit der sie die Körperform darstellen, ist nun in der That so groß, daß manche Objecte, zum Beispiel Gebäude, die man aus stereoskopischen Bildern kennt, wenn man später in Wirklichkeit vor sie hintritt, nicht mehr den Eindruck eines unbekanntes oder nur halb bekannten Gegenstandes machen. Man gewinnt in solchen Fällen durch den wirklichen Anblick des abgebildeten Gegenstandes, wenigstens für die Formverhältnisse, keine neuen und genaueren Anschauungen mehr, als man schon hat. Wie viel durch das stereoskopische Sehen gewonnen wird, ist auch hierbei natürlich am auffallendsten an den Bildern solcher Gegenstände, welche sich schlecht zur Darstellung in einer einfachen Zeichnung oder einem Gemälde eignen, wie zum Beispiel an Bildern von unregelmäßigen Felsen, Eisblöcken, mikroskopischen Objecten, Thieren, Wäldern u. s. w. Namentlich die Ab-

bildungen von Gletschereis mit seinen tiefen Spalten, welche durch die Masse des Eises hindurch erleuchtet sind, machen eine überraschende Wirkung. Das einzelne Bild, einzeln betrachtet, macht in solchem Falle gewöhnlich nur den Eindruck eines unverständlichen Aggregats grauer Flecke, während in der stereoskopischen Combination die Formen der Eisblöcke, so wie das transparente und reflectirte Licht derselben auf das deutlichste hervortreten. Es wird in diesem Falle das Verständniß des einzelnen Bildes so schwer, weil einmal schon so unregelmäßige Formen, wie die der Eisblöcke, auch bei blosser Beleuchtung durch auffallendes Licht nicht deutlich wiederzugeben sind, vollends aber bei der transparenten Beleuchtung auch die gewöhnlichen Gesetze der Schattirung ganz abgeändert werden.

Sehr überraschend ist auch die stereoskopische Darstellung glänzender Gegenstände, z. B. einer von leichten Wellen bewegten Wasserfläche; doch können wir die stereoskopische Darstellung des Glanzes erst im folgenden 642 Paragraphen besprechen.

Wir gehen nun über zur Untersuchung der Genauigkeit, mit welcher sich die Tiefendimensionen des Gesichtsfeldes mittels der gleichzeitigen Thätigkeit beider Augen beurtheilen lassen. Dabei haben wir zu unterscheiden die Beurtheilung der absoluten Entfernung der gesehenen Objecte, und die Beurtheilung der Entfernungsunterschiede verschiedener Objectpunkte. Die erstere kann bei Ausschluß der früher besprochenen Momente nur gestützt werden auf die Empfindung des absoluten Grades der Convergenz, in welchem sich die beiden Blicklinien befinden, wenn sie auf einen gewissen Objectpunkt gerichtet sind; die Unterschiede der beiden Netzhautbilder können dazu nichts beitragen, oder wenigstens sind, wie es scheint, diejenigen Unterschiede der Bilder, welche etwa dazu beitragen könnten, zu unbedeutend, als daß daraus ein wirklicher Nutzen gezogen würde. — Die Beurtheilung der Entfernungsunterschiede verschiedener Objectpunkte beruht auf dem Unterschiede der Bilder in beiden Sehfeldern. Sie könnte beruhen, einmal auf einer Perception des Unterschiedes der beiden Netzhautbilder bei ruhenden Blicklinien, oder auf einer Perception der Bewegungsunterschiede, welche eintreten, wenn die Augen von der Fixation eines Objectpunktes zu der eines andern übergeführt werden. Bei den bisherigen Versuchen hat sich noch kein Unterschied in der Schärfe der Wahrnehmung herausgestellt, der von der Vermeidung oder Ausführung von Augenbewegungen abhinge, und die Vergleichung der Netzhautbilder scheint daher mit so überwiegender Feinheit vollzogen zu werden, daß die Bewegungsunterschiede daneben nicht berücksichtigt zu werden brauchen. Wir werden später indessen sehen, daß namentlich bei schwer zu combinirenden Bildern die Evidenz der Täuschung durch die Bewegungen des Auges wesentlich unterstützt wird.

Wir beginnen mit der Beurtheilung der Entfernungsunterschiede, soweit dieselbe von der Vergleichung verschiedener Netzhautbilder abhängt,

wobei aber wohl zu verstehen ist, daß hier die Differenzen der Bilder in beiden Sehfeldern als solche noch nicht zum Bewußtsein kommen, sondern nur die Unterschiede der Tiefendimension, die von jenen Unterschieden abhängen, aufgefaßt und geschätzt werden.

Die Vergleichung der beiden Netzhautbilder, wie sie sich in der Wahrnehmung der Tiefendimension zu erkennen giebt, ist außerordentlich genau, und es werden darin zuweilen Unterschiede wahrgenommen, welche kaum in anderer Weise ohne künstliche Meßinstrumente wahrgenommen werden können. Schon bei den gewöhnlichen stereoskopischen Photographien sind die Unterschiede beider Bilder meistens so klein, daß eine außerordentlich genaue Untersuchung dazu gehört dieselben zu entdecken, und gewöhnlich bemerkt man Unterschiede nur längs der Contourlinien vorderer Gegenstände, welche die dahinter liegenden bald im rechten, bald im linken Bilde etwas mehr verdecken.

DOVE¹ hat schon folgende Beispiele von der Genauigkeit des stereoskopischen Sehens gegeben:

643 Wenn man zwei Medaillen, die mit demselben Stempel geschlagen sind, aber aus verschiedenen Metallen, stereoskopisch combinirt, so sieht das Gesamtbild schräg liegend und gewölbt aus, nicht eben. Der Grund davon beruht darin, daß die Metalle durch den Druck des Stempels beim Prägen comprimirt werden und sich nachher ihrer verschiedenen Elasticität entsprechend wieder verschieden stark ausdehnen. Deshalb sind Medaillen aus verschiedenen Metallen geprägt nicht genau gleich groß, aber ihre Größenunterschiede sind außerordentlich klein. Ich selbst habe bei Professor DOVE solche Medaillen gesehen, eine aus Silber, eine aus Bronze bestehend, deren Größenunterschied mit bloßem Auge gar nicht zu entdecken war, selbst wenn man sie aufeinander legte, und die doch ein deutlich gewölbttes Bild gaben.

Wenn in einer Buchdruckerpresse derselbe Satz von Buchstaben zwei Mal gesetzt wird, so ist es, wenigstens ohne ungewöhnliche Vorsichtsmaafsregeln, nicht möglich, die Abstände der Buchstaben genau gleich zu machen. In Folge dessen erscheinen im Stereoskop bei der Combination zweier solcher Drucke einzelne Worte und Buchstaben vor oder hinter den andern liegend. Ganz eben erscheint ein solcher Druck nur, wenn beide Exemplare mit demselben Buchstabensatze gedruckt sind; und auch dann kann das Ganze noch gewölbt und schräg liegend erscheinen, wenn durch verschiedene Befeuchtung oder Zerrung das Papierblatt im Ganzen sich gedehnt hat; doch erscheinen dann keine unregelmäßigen Erhöhungen einzelner Buchstaben.

Wie man auf diese Weise die zweite Auflage eines Drucks von der ersten unterscheiden kann, so kann man auch nachgemachte Geldpapiere von ächten unterscheiden, weil es nicht möglich ist, in der Copie den Abstand

¹ W. H. DOVE, *Optische Studien*. Berlin 1859. S. 26—36.

der Buchstaben so genau gleich denen des Originals zu machen, daß nicht Erhebungen und Vertiefungen einzelner unter ihnen zum Vorschein kämen, wenn man ein ächtes und ein unächtcs Papier im Stereoskope combinirt. Auch an zwei ächten Exemplaren desselben Werthpapiers zeigen sich übrigens solche Theile, welche mit verschiedenen Druckplatten gedruckt sind, gewöhnlich in verschiedener Ebene, und man kann mittels des Stereoskops leicht ermitteln, wieviel Platten zum Drucke des Papiers angewendet sind. Sehr bequem ist dieselbe Methode auch, um an Maafsstäben zu controlliren, ob die Theilstriche alle gleich groß sind. Man braucht nur zwei verschiedene Theile desselben Maafsstabs stereoskopisch zum Decken zu bringen. Sind die Theile gleich groß, so erscheinen alle Theilstriche in einer Ebene zu liegen. Sind die Theile unregelmäßig, so treten einige Striche vor, andere zurück.

Ein anderes Beispiel solcher kleinen Verschiebungen, welche durch stereoskopische Combinationen leicht sichtbar werden, und welches mir gelegentlich auffiel, ist folgendes. Wenn man mit einem Auge frei, mit dem anderen aber durch den warmen Luftstrom über dem Schornstein einer brennenden Lampe nach der Tapete des Zimmers blickt, so sieht man bei einiger Aufmerksamkeit eine große einspringende und eine ausspringende Falte in der Tapete, als hätte sich diese von der Mauer losgelöst. Sieht das rechte Auge durch den warmen Luftstrom, so erscheint rechts die vorspringende, links die zurückspringende Falte; umgekehrt dem linken Auge. Am deutlichsten wird das Phänomen, wenn sich der Beobachter etwa drei 644 Fuß von der Wand aufstellt, und die Lampe in die Mitte dieser Entfernung. Dann fallen die beiden ausspringenden Falten für beide Augen an denselben Ort zusammen und die Wirkung verstärkt sich somit. Die Erscheinung erklärt sich durch die Brechung des Lichts in dem warmen Luftstrom. Sei dessen Querschnitt durch den Kreis A in *Fig. 232* angedeutet, r und ρ seien die beiden Augen des Beobachters, a, b, c Punkte der Wand, so erscheinen diese dem Auge r in Richtung der drei geradlinigen Richtungsstrahlen ra, rb und rc . In das Auge ρ gelangen die Strahlen aber auf den Wegen $aa_1\rho, b\rho$ und $cc_1\rho$, wegen der Brechung in dem warmen Luftstrome A . Nur der durch dessen Mitte gehende Strahl $b\rho$ kann geradlinig bleiben. Dem Auge ρ erscheinen die Punkte c und a also in Richtung der Verlängerung der Strahlen ρc_1 und ρa_1 , beiden Augen zusammen also in γ und α , wo sich beziehlich ρc_1 mit rc und ρa_1 mit ra schneidet. So erscheint also die Tapete hervorgetrieben auf der Seite des Auges, welches durch den warmen Luftstrom sieht, auf der andern Seite zurücktretend.

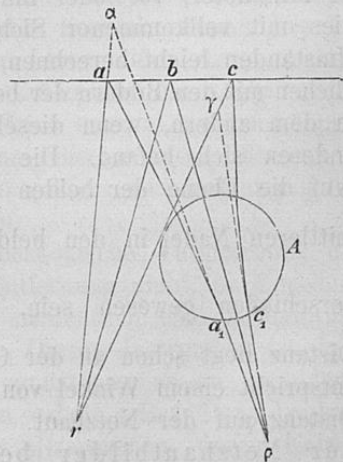


Fig. 232.

Ich habe noch einige Versuche angestellt über den Grad von Genauigkeit, der in der stereoskopischen Vergleichung der beiden Netzhautbilder erreicht werden kann. Zu dem Ende habe ich drei gleiche Nadeln senkrecht befestigt an dem Ende dreier vierkantiger kleiner Holzbalken, diese neben einander auf einen ebenen Tisch gelegt, so daß sich die drei Nadeln neben einander in Abständen von je 12 Millimetern und nahehin in derselben Ebene befanden. Ich stellte mich dann so auf, daß meine Augen sich in oder etwas unter der verlängerten oberen Ebene der drei Bälkchen befanden, und ich also die drei Nadeln sah, ohne die Begrenzungslinie desjenigen Endes der Holzbalken sehen zu können, an welchem die Nadeln befestigt waren. Die Entfernung meiner Augen von den Nadeln betrug 340 Millimeter. Unter diesen Umständen konnte ich nur mittels der Vergleichung der beiden Netzhautbilder erkennen, ob die Nadeln genau in einer verticalen Ebene sich befanden oder nicht. Waren sie es nicht, so konnten sie durch Verschiebung eines der Hölzer, in denen sie befestigt waren, in eine Ebene gebracht werden, so gut es der Beobachter eben erkennen konnte, und wenn man nachher das eine Auge in Richtung dieser Ebene brachte und nach den Nadeln hinblickte, konnte man leicht erkennen, in wie weit die Einstellung der Nadeln gelungen war. Es ist dabei zu bemerken, daß man die Abstände der Nadeln von einander nicht zu groß machen darf, weil sich dann eine eigenthümliche Täuschung des Urtheils einmischt, die im folgenden Abschnitt bei der Lehre vom Horopter besprochen werden soll. Für den Zweck sind die oben angegebenen Distanzen passend und machen jene Täuschung ohne Einfluß. Ich habe mich unter diesen Um-

645 ständen nie, auch nur um eine halbe Dicke der Nadeln, d. h. um $\frac{1}{4}$ Millimeter geirrt, wenn die Ebene der Nadeln senkrecht zur Gesichtslinie war. War dieselbe stark gegen die Gesichtslinie geneigt, so war die Vergleichung nicht ganz so sicher. Wenn eine Nadel um ihre eigene Dicke, also um $\frac{1}{2}$ Millimeter, vor oder hinter die Ebene der andern getreten war, war dies mit vollkommener Sicherheit zu erkennen. Man kann unter diesen Umständen leicht berechnen, um wieviel das Bild der mittleren Nadel verglichen mit den Bildern der beiden äußeren in dem einen Auge anders lag, als in dem andern, wenn dieselbe $\frac{1}{2}$ Millimeter vor der Ebene der beiden anderen sich befand. Die Distanz meiner Augen beträgt 68 Millimeter. Auf die Ebene der beiden andern Nadeln projicirt, würde die Lage der mittleren Nadel in den beiden Netzhautbildern $\frac{1}{2} \cdot \frac{68}{340} = \frac{1}{10}$ Millimeter verschieden gewesen sein. Eine Breite von $\frac{1}{10}$ Millimeter auf 340 Mm. Distanz liegt schon an der Grenze der kleinsten sichtbaren Abstände. Sie entspricht einem Winkel von $60\frac{1}{2}$ Winkelsekunden, oder 0,0044 Millimeter Distanz auf der Netzhaut. Daraus folgt also, daß die Vergleichung der Netzhautbilder beider Augen zum Zweck des stereoskopischen Sehens mit derselben Genauigkeit geschieht, mit

welcher die kleinsten Abstände von einem und demselben Auge gesehen werden.

Sehr kleine Unterschiede, herrührend von der verschiedenen Brechbarkeit verschiedenfarbiger Lichtstrahlen, kommen auch zur Wirkung nach einer Bemerkung von BREWSTER, wenn man durch eine Convexlinse von zwei bis drei Zoll Breite nach einem rothen und einem blauen Objecte hinsieht, die in gleicher Entfernung vom Beobachter sich befinden. Dann erscheint das rothe näher als das blau.

Die stereoskopische Unterscheidbarkeit der Tiefendistanzen nimmt für entferntere Gegenstände schnell ab. Das mathematische Gesetz dafür hat eine ähnliche Form, wie das für die Bilder von Convexlinsen. Es sei r die Distanz des entfernteren Punktes vom Auge, q die des näheren, und f eine Constante, von der die Genauigkeit abhängt, so ist die Tiefendistanz der Punkte unterscheidbar, wenn

$$\frac{1}{q} - \frac{1}{r} > \frac{1}{f}.$$

Nach den eben angeführten Messungen können wir den Werth von f gleich oder gröfser als 240 Meter setzen. Setzen wir statt r den Abstand des Objects, statt q den Abstand des Bildes von einer convexen Linse, deren negative Brennweite gleich f ist, so wird

$$\frac{1}{q} - \frac{1}{r} = \frac{1}{f}.$$

Wenn man also irgend einen Gegenstand durch eine äufserst schwache Concavlinse von 240 Meter negativer Brennweite ansehen würde, so würde das Bild des Gegenstandes an der Stelle des entferntesten Objects liegen, welches stereoskopisch noch, als vor jenem ersten liegend, erkannt werden könnte. Wer daran gewöhnt ist, die Lage der Linsenbilder zu übersehen, wird hierdurch gleich erkennen, dafs in der Entfernung nur sehr grofse Tiefendimensionen, in der Nähe dagegen sehr kleine erkannt werden können.

Die Gröfse f in dieser Formel bezeichnet die weiteste Distanz, in welcher ein Object stereoskopisch noch von unendlich weit dahinter gelegenen Gegenständen unterschieden werden kann.

Ueber die Energie, mit welcher die stereoskopische Vergleichung der Netzhautbilder die Vorstellung verschiedener Entfernung giebt, im Vergleich mit den übrigen Hilfsmitteln des Sehens, ist namentlich eine Abänderung des Stereoskops, das Pseudoskop, lehrreich. Dieses Instrument ist dazu bestimmt, die binocularen Bilder wirklicher Gegenstände so zu verändern, dafs man falsche stereoskopische Reliefs davon erhält. Das Pseudoskop von WHEATSTONE enthält zwei rechtwinkelige Glasprismen, deren Kanten rechtwinkelig zur Visirebene gestellt sind, und durch welche der Beobachter

in einer ihrer Hypotenusenfläche parallelen Richtung hindurchblickt. Es ist oben auf Seite 634 und in *Fig. 205* schon der Gang der Strahlen in einem solchen Prisma angegeben worden. Man sieht durch ein solches Prisma Objecte, die in Richtung des ihrer Hypotenusenfläche parallelen unabgelenkten Strahls liegen, an ihrem richtigen Orte, die rechts daneben befindlichen dagegen durch die Spiegelung nach links, die links befindlichen nach rechts verlegt. Da jedes Auge die Objecte in dieser Weise durch die Spiegelung symmetrisch umgelagert erblickt, so sind die Bilder beider Augen wieder mit einander in Uebereinstimmung. Die beiden Prismen werden übrigens in kurze Röhren eingesetzt, so daß ihre Hypotenusenfläche der Axe der Röhre parallel ist. Die Röhren müssen um ihre eigene Axe und um eine zur Visirebene senkrechte Axe drehbar sein, damit man die beiden Bilder in übereinstimmende Stellung bringen kann.

Daß dabei auch das stereoskopische Relief verkehrt werden muß, läßt sich leicht an einem einfachen Beispiele erkennen. Man denke sich als Object symmetrisch zu der Mittelebene des Kopfes gelegen einen viereckigen Balken. Beide Augen werden von diesem die vordere Fläche sehen, das rechte auch noch etwas von der rechten Seitenfläche, das linke etwas von der linken. Wenn man nun aber durch das Pseudoskop sieht, erscheint dem rechten Auge das, was es von der rechten Seitenfläche sieht, links neben der vorderen Fläche zu liegen. Das linke Auge sieht umgekehrt etwas von einer Seitenfläche rechts von dieser. Das kann nun an einem Balken nicht vorkommen, wohl aber an einer hohlen Rinne von viereckigem Querschnitt, welche an der dem Beobachter zugekehrten Seite geöffnet ist. In einer solchen würde das rechte Auge in der That ein verkürztes Bild der linken Seitenfläche sehen, das linke Auge eines der rechten. Dem entsprechend erscheint nun auch der Balken durch das Pseudoskop in der That als eine hohle Rinne. Ebenso erscheinen überhaupt convexe Körper als concav, nähere Gegenstände entfernter und so fort.

Die pseudoskopische Täuschung gelingt übrigens doch nur an einer kleinen Zahl von Gegenständen, weil ihr theils die Kenntniß der gewöhnlichen Formen, theils die Schlagschatten hindernd in den Weg treten. Ich habe schon früher hervorgehoben, daß die Schlagschatten immer unzweideutige Auskunft über gewisse geometrische Verhältnisse geben. Der schattengebende Körper muß immer vor der beschatteten Fläche liegen. Wenn nun auf einer ebenen Fläche irgend ein hervorspringender Körper liegt, so wirft er seinen Schatten auf die Unterlage. Im Pseudoskop sollte er nun eigentlich hinter der Fläche liegend erscheinen, als wäre er in diese eingegraben. Dann hat aber der Schlagschatten keinen Sinn und stört die Möglichkeit der Täuschung. Ebenso hinderlich ist es, wenn eine vorliegende Fläche eine hinterliegende theilweise verdeckt. Dann sieht das rechte Auge an der rechten Seite der vorliegenden Fläche etwas mehr von der hinterliegenden als das linke, und das hat ebenfalls bei der pseudoskopischen Umkehrung keinen Sinn.

Die Körper, welche man pseudoskopisch sehen will, muß man deshalb im Allgemeinen frei im Raume aufstellen, vor einer entfernteren gleichmäßig gefärbten Wand als Hintergrund, auf die sie keinen deutlichen Schlagschatten mehr werfen können, und die keine auffallenden Merkzeichen hat, die sich selbst als Gesichtsubject darböten. Ferner muß man vermeiden, daß ein Theil des Objects perspectivisch einen andern Theil theilweise deckt. Passende Objecte sind zum Beispiel Cylinder von beschriebenem oder gedrucktem Papier, von Holz etc., welche wie hohle Rinnen aussehen, Cigarren, welche wie ein hohles Tabaksblatt aussehen, Medaillen, von vorn beleuchtet, welche wie Siegel vertieft erscheinen. Sehr lebhaft finde ich die Täuschung bei der pseudoskopischen Betrachtung eines hohlen Glas-cylinders, der eine eingätzte Theilung zur Abmessung von Flüssigkeiten trägt. Ist die Theilung dem Beschauer zugekehrt, so erscheint sie durch das Pseudoskop an der abgewendeten Seite des Cylinders. Auch verticale Drähte oder Fäden, die sich in verschiedener Entfernung vom Beobachter befinden, geben ein sehr geeignetes Object. Die näheren erscheinen durch das Pseudoskop entfernter, die entfernteren nahe.

Wo die Bekanntschaft mit der wirklichen Form der Objecte oder der Schlagschatten hindernd entgegentritt, gelingt es oft noch durch eine lebhafte Vorstellung der pseudoskopischen Form, wie sie erscheinen sollte, die Vorstellung derselben hervorzurufen; und wenn sie sich einmal gebildet hat, bleibt sie auch ohne Mühe bestehen. Andererseits kann man auch wohl wieder die Anschauung der wirklichen Form zurückrufen, doch fühlt man sich bei dieser durch die dazu nicht stimmenden Differenzen der beiden Netzhautbilder immer einigermassen beunruhigt und gestört.

Während das Pseudoskop das Relief der gesehenen Gegenstände umkehrt, wird es von dem Telestereoskop stärker hervorgehoben, als es in der natürlichen Anschauung geschieht, und das letztere Instrument ist deshalb besonders brauchbar, um an sehr entfernten Gegenständen, die im natürlichen Sehen keine oder nur eine sehr undeutliche stereoskopische Anschauung geben, das Relief deutlicher hervorzuheben. Für die Betrachtung sehr weit entfernter Gegenstände sind die menschlichen Augen nicht weit genug von einander entfernt, um zwei merklich verschiedene Bilder derselben zu geben, man muß also die Distanz der Gesichtspunkte künstlich vergrößern, um zwei hinreichend verschiedene Bilder zu erhalten. Dies geschieht im Telestereoskop mit Hilfe von vier Planspiegeln, welche in 648
Fig. 233 bei a , b , α und β im Durchschnitt dargestellt sind. Die beiden Augen des Beobachters befinden sich bei r und ρ . Die Linien $cbar$ und $\gamma\beta\alpha\rho$ bezeichnen den Gang der Lichtstrahlen. Die vier Spiegel sind in einem Kasten, dessen Wände im Durchschnitt dargestellt sind, so befestigt, daß sie kleine Drehungen erlauben, um die Bilder zur Coincidenz zu bringen. Es genügt, wenn die Spiegel a und α rechtwinkelig zu einander und zur Basis des Kastens befestigt sind, daß der Spiegel β mittels einer Stell-schraube um eine horizontale, und der Spiegel b durch eine andere Schraube

um eine verticale Axe gedreht werden kann. Um ein großes Gesichtsfeld zu haben, muß man die äußeren Spiegel möglichst groß machen.

Wenn r_1 den Ort des Spiegelbildes bezeichnet, welches das System der beiden Spiegel a und b vom Auge r entwirft, und ebenso q_1 das Spiegelbild von q , entworfen durch die Spiegel α und β , so sieht das Auge r mittels der beiden Spiegel die vorliegende Landschaft so, wie sie einem in r_1 befindlichen Auge ohne die Spiegel erscheinen würde; und das Auge q sieht die Landschaft, wie sie von q_1 aus erscheint. Da nun die Punkte r_1 und q_1 viel weiter auseinanderliegen als die wirklichen Augen r und q , so sind auch die Differenzen der beiden Bilder der Landschaft, wie sie von r_1 und q_1 aus gesehen erscheinen würde, viel größer, als die natürlichen

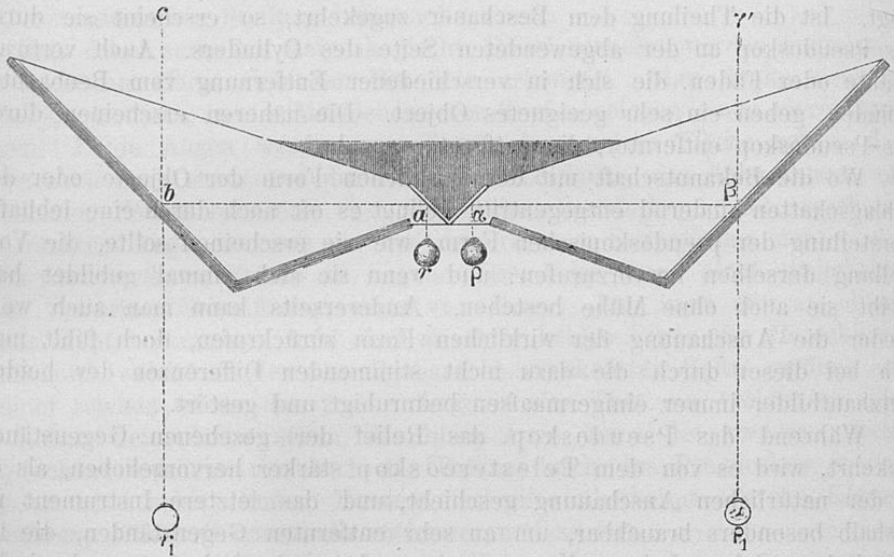


Fig. 233.

Differenzen in beiden Augen, und demgemäß erscheint nun auch das stereoskopische Relief der entfernten Objecte, namentlich entfernter Bergzüge und Terrainformen, viel deutlicher als dem bloßen Auge. Wenn die Spiegel so gestellt sind, daß unendlich entfernte Objecte durch das Telestereoskop mit parallelen Gesichtslinien gesehen werden, so erhält die Landschaft dadurch das Ansehen, als wenn der Beobachter nicht die natürliche Landschaft, sondern ein sehr zierliches und genaues Modell derselben vor sich hätte, welches im Verhältniß der Distanzen $r_1 q_1 : r q$ (Fig. 233) verkleinert ist.

649 Etwas ähnliches wie das Telestereoskop leisten auch die meisten stereoskopischen Photographien von Landschaften, weil in der Regel der Abstand der beiden Gesichtspunkte auch bei der photographischen Aufnahme viel größer gewählt wird, als die natürliche Distanz der Augen. Andererseits können mittels der Photographie stereoskopische Bilder selbst von Himmels-

körpern, namentlich schön vom Monde, erhalten werden, wenn man zwei zu verschiedenen Zeiten aufgenommene Bilder combinirt, wobei die betreffenden Gestirne der Erde etwas verschiedene Seiten zugewendet haben. Obgleich der Mond der Erde im Ganzen fortdauernd dieselbe Seite zukehrt, so kommen doch kleine Schwankungen in seiner Stellung vor, welche es möglich machen von ihm stereoskopische Bilder zu erhalten, wenn man ihn in zwei verschiedenen Monaten photographirt, in solchen Augenblicken, wo die Beleuchtung desselben durch die Sonne genau dieselbe war. Solche Photographien geben nicht blos die Kugelgestalt unseres Trabanten deutlich wieder, sondern auch einzelnes von dem Relief seiner Ringgebirge.

Die Beurtheilung der absoluten Entfernung eines zweiäugig gesehenen Objects würde, wenn alle andern Mittel der Schätzung fehlen, vollzogen werden können mittels des Gefühls für den Grad der Convergenz, in die unsere auf das Object gerichteten Blicklinien sich stellen. Doch ist dieses Gefühl ziemlich unsicher und ungenau, und wir sind in dieser Beziehung unter Umständen ziemlich bedeutenden Täuschungen ausgesetzt.

Um zunächst zu erweisen, dafs wir in der That die absolute Entfernung der gesehenen Objecte und demgemäfs auch ihre Gröfse nach der Convergenz der Blicklinien beurtheilen, so lange nicht andere hindernde Umstände dazwischentreten, dient der von WHEATSTONE angegebene Versuch. Dieser hatte sich sein Spiegelstereoskop so einrichten lassen, dafs erstens die beiden Bilder den Spiegeln genähert und von ihnen entfernt werden konnten. Die parallelen Wände, an welchen die Bilder aufgestellt sind, sind auf Schlitten verschiebbar, die beiden Arme des Stereoskops aber drehbar um eine feste Axe, welche zwischen den Spiegeln liegt. Je näher die beiden Bilder den Spiegeln gebracht werden, desto gröfser werden die beiden Retinabilder ohne Veränderung der Convergenz. Dabei nimmt die scheinbare Gröfse des gesehenen Objects zu, ohne Veränderung seiner scheinbaren Entfernung. Läfst man dagegen die Bilder an den Armen des Instruments unverrückt, dreht aber die Spiegel um ihre mittlere Axe, so ändert sich die Convergenz, während die Gröfse des Netzhautbildes unverändert bleibt. Dabei vermindern sich scheinbare Gröfse und Entfernung des gesehenen Objects, wenn die Convergenz zunimmt.

Aehnliche Verkleinerung und Vergröfserung der Objecte läfst sich auch an jedem Paar stereoskopischer Zeichnungen beobachten, die man entweder mit blofsen Augen oder mit dem Linsenstereoskope vereinigt, wenn man die Zeichnungen einander nähert oder von einander entfernt. Einen Apparat, um die nöthigen Messungen hierbei anstellen zu können, hat H. MEYER¹ angegeben.

WUNDT hat directe Versuche angestellt über die Schätzung der Entfernung nach dem Grade der Convergenz. Er blickte dabei nach einem 650 schwarzen verticalen Faden, der vor einem entfernteren gleichmäfsig weifsen

¹ H. MEYER, *Poggendorff's Annalen*. LXXXV¹, S. 198—207.

Grunde sich abzeichnete, und zwar blickte er durch einen horizontalen gegen den Faden hin etwas röhrenförmig verlängerten Schlitz mit beiden Augen, so daß er nur den mittleren Theil des Fadens, nicht seine Enden sah, und auch von den seitlich gelegenen Gegenständen nichts, was ihm als Maafsstab der Entfernung hätte dienen können. Der Faden war an einem horizontal in der Medianebene des Beobachters ausgespannten Drahte aufgehängt und verschiebbar. Zunächst suchte er die absolute Entfernung zu beurtheilen, und zu vergleichen mit der Länge eines in der Hand gehaltenen Maafsstabes. Die Resultate waren folgende:

Wirkliche Entfernung	Geschätzte Entfernung.
180 cm	120 cm
160 "	92 "
140 "	78 "
120 "	58 "
100 "	48 "
90 "	47 "
80 "	47 "
70 "	37 "
50 "	22 "
40 "	25 "

In allen diesen Fällen ist die geschätzte Entfernung kleiner gewesen, als die wirkliche. Ich habe eine ähnliche Versuchsreihe nach etwas abgeändertem Plane und mit dem entgegengesetzten Erfolge gemacht. Dicht vor das Gesicht in die Medianebene hielt ich ein Blatt steifen Papiers und blickte nach einem vertical herabhängenden Faden. Das Papier verdeckte dem rechten Auge alles, was sich links in einigem Abstände neben dem Faden befand, dem linken Auge, was sich rechts neben dem Faden befand. Näherte ich nun von der rechten Seite her einen Bleistift dem Faden, so sah ich diesen nur mit dem rechten Auge, nicht mit beiden. Ich versuchte dann mit dem Bleistift den Faden zu treffen, indem ich ihn schnell vorschob. Dann ging aber immer der Bleistift hinter dem Faden vorbei. Oeffnete ich die vorher geschlossenen Augen, nachdem ich meine Stellung verändert hatte, richtete sie auf den Faden und versuchte dann schnell ihn in der angegebenen Weise zu treffen, so war die Entfernung zwischen Bleistift und Faden gering. Wartete ich länger, indem ich fortdauernd den Faden fixirte, so wurde der Fehler immer gröfser, wohl wegen steigender Ermüdung der inneren Augenmuskeln.

Sehr viel genauer war die Perception der Entfernungsänderung, wenn bei WUNDR's Versuchen der Faden genähert oder entfernt wurde. Die kleinsten wahrnehmbaren Unterschiede waren hierbei:

Entfernung des Fadens vom Auge	Unterscheidungsgrenze		651
	für Annäherung	für Entfernung	
180 cm	3,5 cm	5 cm	
170 "	3 "	4 "	
160 "	3 "	3 "	
150 "	3 "	3 "	
130 "	2 "	3 "	
110 "	2 "	2 "	
80 "	2 "	2 "	
70 "	1,5 "	1,5 "	
50 "	1 "	1 "	

Bei 180 Centimeter Entfernung ist jedes Auge um $1^{\circ} 1'$ nach innen gewendet, und eine Annäherung des Fadens um 3,5 Centimeter entspricht einer Verschiebung jedes einzelnen Netzhautbildes um 72 Winkelsekunden. Diese Gröfse ist schon an der Grenze des durch das Auge Unterscheidbaren. Bei den geringeren Abständen des Fadens werden dagegen erst gröfsere Winkelverschiebungen bemerkt; bei 50 Centimeter Abstand eine solche von 263 Sekunden.

Uebrigens bleibt es bei diesen Versuchen wohl noch zweifelhaft, ob die beiden Augen dem Faden gefolgt und das Netzhautbild auf der Netzhaut ruhend geblieben ist, oder ob die Augen festgehalten wurden und die Verschiebung des Netzhautbildes bemerkt wurde. Die geringere Genauigkeit bei den stärkeren Convergenzen würde dann daraus zu erklären sein, dafs bei vorhandener Convergenzanstrengung die Lage des Augapfels schwerer festzuhalten ist, als bei unangestregter Parallelstellung.

Die Unvollkommenheit in der Beurtheilung der Entfernung des Fixationspunktes zeigt sich auch, wenn wir bei geschlossenen Augen einen Bleistift in einiger Entfernung vor unserem Gesicht halten und die Augen hinter den Augenlidern auf denselben hinzurichten suchen, so dafs wir ihn fixiren, wenn wir bei unveränderter Augenstellung die Augen öffnen. Meist sind sie dann zu wenig convergent gestellt, und man sieht den Bleistift doppelt, wenn man sie öffnet. Doch gelingt es viel besser sie richtig einzustellen, wie ich schon oben bemerkt habe, wenn man die Spitze des Bleistifts betastet und daran mit der Fingerspitze reibt. Man erhält dann eine deutlichere sinnliche Vorstellung von seinem Orte, und dann gelingt es mir gewöhnlich die geschlossenen Augen so darauf zu richten, dafs ich beim Oeffnen derselben keine Doppelbilder sehe.

Die Unsicherheit, mit der wir den absoluten Grad der Convergenz beurtheilen und danach die absolute Entfernung des fixirten Objects, macht sich in vielen Fällen merklich. Wenn man zum Beispiel ein Blatt Papier, auf dem stereoskopische Bilder gezeichnet sind, in der Hand hält und die Bilder combinirt, so erscheinen dieselben der Regel nach auf oder nahe vor der Fläche des Papiers, dessen Ort wir kennen, zu liegen, während doch die

parallel oder nahe parallel gestellten Blicklinien sich erst in sehr großer Entfernung hinter dem Papiere schneiden sollten, und dort der scheinbare Ort des körperlich erscheinenden Objects sein sollte. Ebenso gelingt es in der Regel nicht, negative Nachbilder eines hellen Objects zu einer körperlichen Anschauung zu combiniren; sondern sie erscheinen auf die Oberfläche
 652 desjenigen reellen Objects, auf welches die Augen gerade gerichtet sind, projectirt zu sein. Zuweilen indessen, wenn die Nachbilder recht scharf und deutlich sind, und wenn die vorliegende reelle Oberfläche keine hervortretende Zeichnung hat, gelingt es auch wohl das Nachbild mit körperlichen Dimensionen und selbständiger Lage im Raume zu erkennen.

Auch wenn man stereoskopische Zeichnungen im Stereoskop combinirt, wo man außer ihnen keinen andern Gegenstand sieht, mit dem man die absolute Entfernung des erscheinenden Raumbildes vergleichen könnte, ist man ziemlich unsicher über die absolute Entfernung desselben; und wenn man die Lage des scheinbar gesehenen Objects mit der Hand außerhalb des Kastens zu bezeichnen sucht, begeht man ähnliche Fehler, wie WUNDT sie bei der Schätzung der Entfernung des zweiäugig gesehenen Fadens fand. Blickt man dann abwechselnd über dem Instrumente hinweg und durch dasselbe, so kann man leicht die Lage der Hand mit der des stereoskopischen Raumbildes vergleichen und den Fehler schätzen, den man gemacht hat. Auch hierbei finde ich, wie WUNDT, daß ich meist geneigt bin, das Raumbild für näher zu halten, als es ist. Sehr viel besser als mit der nach dem Gefühl bestimmten Lage der nicht gesehenen Hand pflegt dagegen die Vergleichung mit einäugig rechts und links vom Stereoskop gesehenen Objecten zu gelingen. Die Kästen der BREWSTERSchen Stereoskope sind meistens nicht so breit, daß man nicht mit dem rechten Auge einige von den rechts liegenden reellen Objecten, mit dem linken links liegende sehen könnte, deren Entfernung und Größe bekannt ist. Trotzdem man diese nur einäugig sieht, und trotzdem die Entfernung des stereoskopischen Raumbildes nur durch das zweiäugige Sehen bestimmt wird, macht man meist ziemlich genaue Bestimmungen, die nicht viel geändert werden, wenn man nachher das Raumbild mit zweiäugig über oder unter dem Stereoskop gesehenen reellen Objecten vergleicht.

Dieses letztere Verfahren zeigt, daß die Beurtheilung der Entfernung nach der Convergenz der Gesichtslinien unter günstigen Umständen und wenn sie durch keinerlei beirrende Einflüsse gestört wird, ziemlich gute Resultate giebt. Aber es ist eines derjenigen Momente der Beurtheilung, welches leicht überwogen wird durch andere, die ihm widersprechen, wie in dem vorher citirten Beispiele der Bilder, die sich auf eine Fläche von bekannter Entfernung projectiren.

Auch die sogenannten Tapetenbilder¹ zeigen unzweideutig den Einfluß der Convergenz. Wenn man nämlich nach einer Tapete, deren

¹ H. MEYER in ROSER und WUNDERLICH's *Archiv*. 1842. Bd. I. — D. BREWSTER in *Philos. Magaz.* XXX, 305.

Muster sich gleichmäfsig wiederholt, mit convergenten Blicklinien hinsieht, so gelingt es bei gewissen Graden der Convergenz entsprechende Theile des Musters zur Deckung zu bringen, entweder das erste mit dem benachbarten zweiten, oder auch das erste mit dem dritten oder vierten. Man sieht alsdann ein verkleinertes Bild der Tapete, welches, dem Beobachter näher, scheinbar in der Luft schwebt, desto näher und kleiner, je gröfser die Convergenz ist. Wenn hierbei jeder Theil des Musters sich mit nächst-⁶⁵³benachbarten gleichen deckt, ist das Bild nicht so klein und nah, als wenn er sich mit dem dritten oder vierten gleichen deckt.

Die Vorstellung von der Entfernung des so gesehenen Tapeten-Musters ⁿ hat etwas Unbestimmtes; sie ist nicht sehr deutlich und wird geändert, sowie noch andere Gegenstände auf der Tapete vorhanden sind — Bilder, Nägel u. s. w. —, welche die regelmäfsige Periodicität des Musters stören.

Wenn man sich nun ein solches Tapetenbild entwirft und dann den Kopf etwas von rechts nach links, oder von oben nach unten oder von vorn nach hinten verschiebt, so tritt eine scheinbare Bewegung des Tapetenbildes ein. Hingegen macht das reelle Object, welches man mit richtig gestellten Augenaxen binocular anschaut, keine derartige Bewegung; bei diesem sind wir darauf eingerichtet, wir erwarten die Winkelverschiebung, welche dasselbe erleidet, wenn wir unsern Kopf willkürlich verschieben. Solange hierbei die scheinbaren Bewegungen des reellen Objectes die uns gewohnten Grenzen und Verbindungen einhalten, beurtheilen wir das Object als ruhend. Bei den Tapetenbildern wird die Combination gelöst. Also selbst eine ruhende Convergenz, welche auf eine bestimmte Entfernung eingerichtet ist, wird hierbei deutlich und fein unterschieden von dem andern Grade der Convergenz, der der wirklichen Lage des Objectes entsprechen würde. Ich habe hierbei gefunden, dafs in diesem Falle in der That die vorhandene Convergenz mit recht grofser Genauigkeit den Erfolg bestimmt, und dafs mit recht grofser Sicherheit die nicht objective Natur des Tapetenbildes sich verräth, indem jede Bewegung des Kopfes eine scheinbare Winkelbewegung des Bildes hervorruft. Bei Convergenz der Blicklinien auf einen Punkt, der hinter der Ebene der Tapete liegt, bewegen sich die Tapetenbilder stets nach entgegengesetzter Richtung als der Kopf; bei Convergenz auf einen Punkt vor der Ebene der Tapete bewegen sie sich in derselben Richtung wie der Kopf.

Diese leicht zu machenden Beobachtungen scheinen mir von einiger Wichtigkeit zu sein, um die Schätzung derjenigen Momente zu geben, von denen die Beurtheilung der Entfernung gesehener Objecte abhängt.

Hierhin gehört auch der Fall, wo stereoskopische Bilder vereinigt werden, ⁶⁵³ deren correspondirende Punkte weiter von einander entfernt sind als die Mittelpunkte der Augen, die also nur bei divergenter Richtung der Blicklinien vereinigt werden können. Beobachter, welche wenig in der Erzeugung divergenter Augenstellungen geübt sind, erreichen dies am besten, wenn sie zwei zusammengehörige stereoskopische Zeichnungen auseinander schneiden, sie dann in ein gewöhnliches Stereoskop einlegen und sie nun langsam von

einander entfernen, während sie sie fortdauernd vereinigt zu sehen suchen. Oder man zeichnet, wie ROLLET¹ und BECKER thaten, unter einander auf einem Papier eine Reihe von stereoskopischen Figuren, die einander einzeln congruent sind, aber immer weiter auseinander rücken. Die genannten Beobachter haben eine Reihe von Figuren gegeben, deren jede einzelne einen größeren Kreis, vor dessen Fläche ein kleinerer liegt, stereoskopisch darstellen. Die Mittelpunkte der kleinen Kreise des nächstfolgenden Paares sind immer so weit von einander entfernt, wie die der großen des vorausgehenden Paares. Hat man also die letzteren vereinigt, so vereinigen sich auch die kleinen Kreise des nächsten Paares von selbst; von denen gelangt man zur Vereinigung der großen dieses selben Paares, von diesen zur Vereinigung der kleinen eines dritten Paares und so fort. Die Mittelpunkte des ersten Paares kleiner Kreise sind 44 Millimeter distant, die der letzten großen 93 Millimeter, und doch kann ich bei einer Augendistanz von 68 Millimeter auch die letzteren in 30 Centimeter Abstand vereinigen.

In solchen Fällen können sich die Blicklinien nun in gar keinem Punkte des vor uns gelegenen Raums schneiden, sondern nur hinter unserem Kopfe, und dennoch glauben wir ebenso gut, wie bei richtiger Distanz der Bilder, ein stereoskopisches Raumbild vor uns zu haben. Höchstens werden wir durch das Gefühl ungewöhnlicher Anstrengung unserer Augen benachrichtigt, daß dieselben eine ungewöhnliche Stellung haben. Und wenn wir ein stereoskopisches Raumbild, welches mit divergenten Sehaxen betrachtet wird, vergleichen mit reellen sehr entfernten Objecten, die über dem Stereoskop sichtbar sind, einer weit entfernten Bergkette zum Beispiel, so erscheint uns jenes Raumbild nur eben noch sehr viel weiter entfernt, als die entferntesten reellen Objecte.

Auch wenn wir reelle ferne Objecte durch zwei Prismen ansehen, von etwa vier Grad brechendem Winkel, deren brechende Kanten nach außen gekehrt sind, so müssen wir sie mit divergenten Gesichtslinien betrachten, und sie erscheinen uns wohl etwas entfernter, als mit bloßen Augen, im Ganzen aber doch nicht viel anders. Das unendlich Entfernte macht sich in unseren Gesichtsanschauungen eben nicht geltend als eine Grenze, die nicht überschritten werden könnte. Abnehmende Convergenz der Gesichtslinien ist für uns ein Zeichen wachsender Entfernung des Objects. Diesem Zeichen
654 gemäß urtheilen wir auch, wenn die Convergenz bis zu negativen Werthen abnimmt, obgleich dann kein vor uns liegender reeller Raumpunkt solcher Convergenz mehr entspricht. Selbst wenn wir durch das Gefühl mehr oder weniger sicher wahrnehmen sollten, daß wir mit einer Augenstellung sehen, die bei der normalen Betrachtung wirklicher Objecte nie vorgekommen ist, so würden wir den Eindruck nach der Regel, der wir bei abnormen Sinnesindrücken zu folgen pflegen, doch immer nur vergleichen können demjenigen, welcher ihm am ähnlichsten ist und sich nur durch geringere Convergenz

¹ A. ROLLET, *Wiener Sitzungsberichte*. 10. Mai 1861. Bd. XLIII. — Combination bei divergenten Gesichtslinien auch schon früher ausgeführt durch BURCKHARDT in *Verhandl. d. naturforsch. Ges. zu Basel*. I, 145.

der Gesichtslinien davon unterscheidet, dem Eindruck weit entfernter reeller Objecte auf das Auge.

Wegen der Unvollkommenheit, mit der wir den Grad der Convergenz beurtheilen, können nun auch Täuschungen in der Beurtheilung der zwei- äugig gesehenen Raumformen vorkommen, indem wir eine Interpretation der Gesichterscheinungen machen, welche für eine andere Convergenz passend wäre, aber nicht für die wirklich stattfindende richtig ist. Am auffallendsten ist dies an solchen Gegenständen, deren Netzhautbilder bei verschiedenen Graden der Convergenz gleich guten Sinn haben würden. Man befestige zum Beispiel an einem hoch über und vor unserem Auge gelegenen horizontalen Querbalken in einigen Zollen Entfernung von einander drei Nägel, hänge an diesen drei feine schwarze Seidenfäden mittels loser weiter Schleifen auf und spanne sie durch kleine Gewichte. Zunächst richte man die Fäden so, daß alle drei in einer Ebene hängen. Dann setze man sich gerade vor die Fäden um Armeslänge von ihnen entfernt, so daß der mittlere in der Medianebene des Gesichtes liegt und die Ebene der Fäden senkrecht zu dieser Medianebene sei. Hinter den Fäden muß sich in größerer Entfernung ein gleichmäßig gefärbter Grund ohne besonders markirte Punkte befinden. Man betrachte die Fäden aufmerksam, ob sie wohl wirklich in einer Ebene zu liegen scheinen; es zeigt sich dann, daß der mittlere scheinbar von der Ebene der beiden andern sich befindet, desto mehr je näher man das Gesicht den Fäden bringt. Nun schiebe man den mittleren Faden etwas zurück, so daß die Fäden in einer gegen den Beobachter concaven Cylinderfläche liegen, und setze sich wieder davor. Betrachtet man sie nun aus größerer Entfernung, so erscheinen sie in einer gegen den Beobachter concaven Fläche zu liegen; nähert man sich mehr, so wird diese eben, endlich bei noch größerer Annäherung tritt der mittlere Faden, obgleich er hinter der Ebene der beiden andern liegt, scheinbar vor die Ebene der beiden andern nach vorn heraus. Die Entfernung, aus der die Fäden als eine Ebene erscheinen, ist für verschiedene Beobachter sehr verschieden. Herr E. HERING, der diesen Versuch durch Anwendung von Fäden verbessert hat, nachdem ich ihn schon zuvor mit Nadeln in der oben beschriebenen Weise ausgeführt hatte, findet, daß er sich um die ganze Länge des Durchmessers des durch die Fäden zu legenden geraden kreisförmigen Cylinders entfernen müsse, um die Fäden in einer Ebene zu sehen, und bringt dies mit seiner Horoptertheorie in Zusammenhang, wovon weiter unten mehr. Ich selbst sehe aus einer solchen Entfernung die Fläche der Fäden noch deutlich concav gegen mich hin, ebenso die Hrn. BERTHOLD, BERNSTEIN und DASTICH, die in meinem Heidelberger Laboratorium darüber Versuche anstellten. Die Hrn. BERTHOLD und DASTICH mußten sich bis etwa zur Hälfte jenes 655 Durchmessers nähern, ich selbst noch mehr, nämlich auf etwa $\frac{3}{10}$, ehe ich die Fäden in einer Ebene erblickte; am nächsten mußte Hr. BERNSTEIN herangehen. Das Verhältniß blieb für verschiedene Entfernungen der Fäden 650 von einander und für verschiedene Abstände des mittleren Fadens von der

Ebene der beiden andern ziemlich dasselbe, so dafs Herr Dr. BERTHOLD die Fäden immer dann nahehin eben sah, wenn seine Nasenwurzel etwa in der Axe des Cylinders sich befand, der durch die Fäden zu legen ist, ich selbst aber immer bis nahe, aber nicht ganz zur Mitte des Radius, oder bis auf ein Viertel des Durchmessers herangehen mußte.

Dabei zeigte sich auch ein Einfluß der Ermüdung der Augen, indem nämlich beim ersten Uebergang aus paralleler Richtung zur Convergenz auf die Fäden der Fehler in der Beurtheilung ihrer Lage kleiner ausfällt, und man näher heran zu gehen geneigt ist, um sie eben zu sehen. Bei länger andauernder Convergenz aber tritt dann der mittlere Faden etwas vor, und man muß wieder weiter zurückgehen.

Hier sind einige Beobachtungsergebnisse, für mein Auge bei längerer Betrachtung erhalten:

Abstand der beiden äußeren Fäden von einander	Abstand des mittleren von der Ebene der beiden andern	Durchmesser des Cylinders	Distanz, in der ich die Fäden in einer Ebene sah	Distanz in Theilen des Durchmessers.
256 mm	10,5 mm	1571 mm	450 mm	0,286 mm
256 „	6 „	2737 „	730 „	0,267 „
117 „	4,2 „	819 „	237 „	0,289 „
117 „	8,1 „	429 „	129 „	0,301 „
120 „	2 „	1802 „	550 „	0,305 „

Die Täuschung bei diesen Versuchen erklärt sich aus der oben bemerkten Thatsache, dafs, wenn wir nur nach der Convergenz der Gesichtslinien die Entfernung beurtheilen, wir dieselbe gewöhnlich für kleiner halten, als sie wirklich ist, und sie überhaupt unsicher beurtheilen.

Wenn wir nun auf eine senkrechte durch senkrechte parallele Linien eingetheilte Ebene blicken, so erscheinen die nach rechts hin gelegenen Streifen derselben dem rechten Auge unter größerem Gesichtswinkel als dem linken, weil sie erstens jenem Auge näher sind, und weil zweitens seine Gesichtslinie die genannten Streifen unter einem weniger spitzen Winkel trifft, als die des linken Auges. Umgekehrt erscheinen die nach links gelegenen Streifen dem linken Auge breiter, als dem rechten. Je näher die Augen der besagten Ebene kommen, desto größer werden die Differenzen der Gesichtswinkel für den gleichen Streifen. Um nun entscheiden zu können, ob die wahrgenommenen Differenzen dieser Art der Projection einer ebenen Fläche oder einer gekrümmten angehören, müßte man die Entfernung des Objects nach der Convergenz der Gesichtslinien sehr genau schätzen können. Denn die gleichen Differenzen der beiderseitigen Bilder würde auch ein entfernteres Object zeigen können, wenn es gegen den Beobachter convex wäre, oder ein näheres, wenn es gegen den Beobachter concav wäre. Dafs wir nun das gesehene zweiäugige Bild bei den beschriebenen Versuchen so interpretiren, als gehörte es einem entfernteren Objecte an, rührt, wie ich glaube, nicht oder wenigstens nicht allein davon her, dafs wir die

Entfernung des Objects unter ähnlichen Umständen meist als zu groß schätzen, wie die oben beschriebenen Versuche bei dem Zielen mit dem einäugig gesehenen Bleistift auf den zweiäugig gesehenen Faden zeigen; denn in der That müßte der Irrthum über die Entfernung größer sein, als er wirklich sich bei jenen Versuchen herausstellt, wenn er die gleiche Aenderung in der scheinbaren Form des Raumbildes geben sollte. So würden wir in dem ersten Falle der auf Seite 802 gegebenen Beobachtungen die Entfernung auf 627 Millimeter statt auf 450, in dem dritten auf 350 statt auf 237 schätzen müssen. So groß habe ich die Irrthümer nie gefunden. Ich glaube vielmehr, daß wir hier eine falsche Auslegung machen, weil ein anderer Umstand wegfällt, der sonst unser Urtheil unterstützt. Wenn wir nämlich nicht bloß gleichmäßig fortlaufende gerade Linien in ähnlicher Lage wie die Fäden bei dem zuletzt beschriebenen Versuche vor Augen haben, sondern Linien, welche deutlich sichtbare Merkmale darbieten, oder Objecte, an denen auch horizontale Grenzlinien vorkommen, so erscheinen uns die verticalen Längen, welche dem rechten Auge näher liegen, unter größerem Gesichtswinkel, als dem linken Auge und umgekehrt.

Daß diese Unterschiede in den verticalen Dimensionen für beide Augen in Betracht kommen, zeigt evident die Vergleichung der stereoskopischen Figuren auf *Taf. III A* und *B*. Das Figurenpaar *A* zeigt die beiden Projectionen einer nahe vor dem Gesicht befindlichen, schachbrettartig gemusterten Ebene und erscheint als Ebene. Das Paar *B* dagegen zeigt die beiden Projectionen einer schachbrettartig gemusterten, weit entfernten und cylindrisch gekrümmten Fläche und erscheint als solche. Nun sind die verticalen Linien in dem einen Paar Zeichnungen genau so weit von einander entfernt, wie die entsprechenden verticalen Linien in dem andern Paare von Zeichnungen. Wenn also die scheinbare Krümmung nur von der gegenseitigen Lage der verticalen Linien abhinge, wie man bisher meist vorausgesetzt hat,¹ so müßten beide Zeichnungen genau dieselbe Flächenkrümmung darbieten. An und für sich entspricht die relative Lage der verticalen Linien aber ebenso gut einem nahe liegenden ebenen, wie einem entfernteren convexen Schachbrett, und erst die Führung der queren Linien giebt für die eine oder andere Deutung den Ausschlag. Umgekehrt sind in *Taf. III Fig. C* die horizontalen Distanzen der Verticallinien überall gleich groß, die begrenzenden Querlinien aber gekrümmt und am äußern Rande der Figuren weiter von einander entfernt, als am innern, wie es in den Bildern einer nahen concaven Fläche der Fall sein würde. Aus der Combination beider Zeichnungen entsteht auch wirklich das binoculare Bild einer gegen den Beobachter concaven Fläche, trotz paralleler Stellung der Blicklinien, die einem nahen Objecte nicht entspricht. Wenn wir hier nur nach den Unterschieden in horizontaler Richtung urtheilen wollten, die ganz fehlen, so müßte *C* als ein ebenes Schachbrett erscheinen. Die unpassende Convergenz

¹ Und wie es namentlich Herr E. HERING als Grundgesetz des binocularen Sehens ausgesprochen hat.

657 stört hier ebenso wenig, wie bei der Betrachtung der Doppelzeichnung *A Taf. III*, wo wir urtheilen, daß wir eine nahe ebene Fläche vor uns haben, trotzdem die dazu nöthige Convergenz fehlt. Die Aehnlichkeit der beiden Bilder *A* mit denen einer nahen Ebene entscheidet unsere Deutung trotz des Gefühls unpassender Convergenz.

Wenn man nun die Bilder so wählt, daß Verschiedenheiten in den verticalen Dimensionen für beide Augen gar nicht vorkommen können, also zum Beispiel wie in dem oben besprochenen Versuche drei verticale Fäden ganz gleichmäÙig fortlaufend und ohne Merkpunkte, betrachtet, so fällt ein Theil derjenigen Zeichen fort, an denen wir sonst die Nähe der Bilder erkennen. Die Differenzen, welche die horizontalen Abstände der Fäden in den beiden Netzhautbildern zeigen, sind nicht begleitet von den sonst immer gleichzeitig vorkommenden entsprechenden verticalen Differenzen, oder wenigstens sind letztere nicht wahrnehmbar, und da wir in der Beurtheilung der Nähe durch Convergenz nicht sehr sicher sind, so beurtheilen wir die drei Fäden wie ein Object, welches etwas ferner ist, und an dem alsdann die vorhandenen Differenzen der horizontalen Dimensionen nur vorkommen können, wenn es gegen den Beobachter convex ist.

Da bei verschiedenen Individuen die Sicherheit der Beurtheilung der Entfernung durch Convergenz sehr verschieden ist, so erklärt es sich, daß die Täuschung an den drei verticalen Fäden bei verschiedenen Individuen sehr verschiedenes Maafs hat. Bei Herrn E. HERING ist die Täuschung am meisten entwickelt; bei demselben scheint aber auch die Beurtheilung der Entfernung nach der Convergenz der Gesichtslinien besonders unvollkommen zu sein, da er sie nach seinen eigenen Beobachtungen ganz zu läugnen geneigt ist.

Zur Prüfung der gegebenen Erklärung habe ich auf die drei schwarzen Fäden kleine Goldperlen aufgezogen und dieselben in Zwischenräumen von etwa vier Centimeter von einander befestigt. Sie dienten als Merkpunkte an den Fäden, die auch im indirecten Sehen deutlich sichtbar waren. Die oben beschriebene Täuschung war danach bis auf einen geringen Rest geschwunden, während ich bei drei ganz schwarzen Fäden, deren äußere 256 Millimeter von einander entfernt waren, und die aus 450 Millimeter Entfernung betrachtet wurden, den mittleren 10,5 Millimeter hatte zurückschieben müssen, um sie eben zu sehen, brauchte ich ihn nach Anbringung der Perlen nur 2 Millimeter zurückzuschieben. Bei 120 Millimeter Abstand der äußeren Fäden, wobei der mittlere 2 Millimeter zurückgeschoben war, mußte ich früher 550 Millimeter abgehen, nach Anbringung der Perlen nur 230 Millimeter.

Auch wenn man den drei schwarzen Fäden irgend einen andern Gegenstand nahe bringt, der hinreichend viele Merkpunkte darbietet, so erkennt man die Krümmung der Fläche, in der die Fäden hängen, selbst wenn der genäherte Gegenstand an sich gar keine geraden Linien zur Vergleichung darbietet. Ich benutzte dazu zum Beispiel einen S-förmig gekrümmten aus-

geschnitzten Papierschneider, und selbst wenn ich seinen am stärksten gekrümmten Rand den Fäden zuwendete, liefs er die Täuschung über deren Stellung fast ganz schwinden.

Da es sehr schwierig ist, aufer durch Maschinen eine hinreichend genaue Uebereinstimmung der verticalen Linien in stereoskopischen Bildern hervorzubringen, habe ich Versuche über den Einfluß der Convergenz noch in folgender Weise angestellt. Ich habe zwei rechtwinkelige Prismen neben einander befestigt, so daß ihre Querschnitte wie die rechtwinkeligen Dreiecke 658 in Fig. 234 liegen, daß ihre Kanten einander parallel und zwei ihrer Kathetenflächen unter einem

kleinen Winkel α gegen einander geneigt sind. Trifft der Strahl af bei b nahehin senkrecht auf eine Kathetenfläche solcher Prismen, so wird der Strahl zwei Mal bei c und d reflectirt, wie die Figur anzeigt, und tritt schliesslich aus der letzten Fläche in der Richtung eg von seiner ersten Richtung

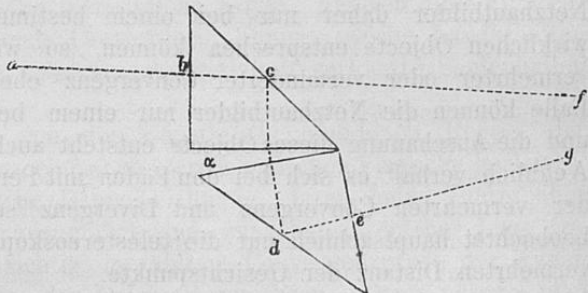


Fig. 234.

aus um einen Winkel abgelenkt, der das Doppelte des Winkels α beträgt.¹ Wenn man in der angegebenen Weise durch ein solches Doppelprisma bei senkrechter Stellung seiner Kanten blickt, so sieht man genau dasselbe Netzhautbild, wie mit bloßem Auge, aber um es zu sehen, muß man das Auge etwas mehr nach rechts oder links wenden, als es ohne das Prisma nöthig wäre.

Blickt man durch ein solches Prisma nach drei parallelen verticalen Fäden, die in einer Ebene sich befinden und deren mittelster daher den unbewaffneten Augen ein wenig vor die Ebene der beiden anderen vorzutreten scheint, so muß man die Augen, je nachdem man die Fläche b oder e des Prisma ihm zukehrt, mehr convergiren oder mehr divergiren lassen, als vorher, sieht aber genau dieselben Netzhautbilder. Im Falle die Divergenz vergrößert wird, erscheint der mittlere Faden noch stärker vortretend als bisher; im Falle die Convergenz vermehrt wird, tritt er in die Ebene der andern scheinbar zurück, oder sogar hinter dieselbe. Da die Prismenzusammenstellung eine ganz geringe telestereoskopische Wirkung hat, so bringe man für Convergenz die Fläche e vor das rechte, für Divergenz b vor das rechte Auge; oder man bringe nach einander beide Flächen vor das

¹ Es ist hierbei keine Verzerrung des Bildes durch die Brechung an den Glasflächen zu fürchten, wie sie bei schiefwinkligen Prismen vorkommt und bei stereoskopischen Versuchen sehr störend werden kann, weil die Veränderungen nur derselben Art sind, wie sie beim Sehen senkrecht durch eine dicke planparallele Glasplatte vorkommen; in der Mitte des Bildes verschwindend klein und nach den Seiten hin symmetrisch, so daß sie bei den hier zu machenden Versuchen nicht stören können.

linke Auge; die telestereoskopische Wirkung des kleinen Apparats ist in den ersten beiden Fällen gleich, wo der Abstand der Gesichtspunkte durch die Prismen vergrößert wird, und ebenso in den letzteren beiden Fällen, wo dieser Abstand verkleinert wird.

Aus diesem Versuche folgt, daß dieselben Netzhautbilder die Vorstellung eines concaven, ebenen oder convexen Objects hervorbringen, je nachdem die Convergenz der Augen größer oder kleiner ist, daß also die Convergenz bei solchen Objecten wohl beachtet wird.

Andererseits betrachte man durch die Prismencombination eine ebene mit deutlich sichtbaren Figuren oder Buchstaben bedeckte Fläche, deren Netzhautbilder daher nur bei einem bestimmten Convergenzgrade einem
659 wirklichen Objecte entsprechen können, so wird man dieselbe auch bei vermehrter oder verminderter Convergenz eben sehen. In einem solchen Falle können die Netzhautbilder nur einem bestimmten Objecte angehören, und die Anschauung dieses Objects entsteht auch bei unpassender Convergenz. Aehnlich verhält es sich bei den Fäden mit Perlen; auch da ist die Wirkung der vermehrten Convergenz und Divergenz sehr unbedeutend, und man beobachtet hauptsächlich nur die telestereoskopische Wirkung der scheinbar vermehrten Distanz der Gesichtspunkte.

Ganz anders wirken die gewöhnlichen einfachen Prismen von schwachem brechenden Winkel. Wenn man durch die Mitte eines solchen unter dem Minimum der Ablenkung blickt, die brechende Kante der Nase zugekehrt, so erscheinen alle Objecte nach innen abgelenkt und erfordern erhöhte Convergenz zu ihrer Betrachtung. Aber gleichzeitig erscheinen alle Verticallinien nasenwärts concav, die schläfenwärts gelegenen Theile des Bildes zu schmal, die nasenwärts gelegenen zu breit, Horizontallinien dagegen nach der Nasenseite divergirend. Daraus folgt, daß, wenn das rechte Auge durch ein solches Prisma blickt, die Objecte zweiäugig gesehen, näher erscheinen und so, daß sowohl ihre geraden Horizontallinien wie ihre geraden Verticallinien gegen den Beschauer concav erscheinen. Durch die scheinbare Vergrößerung der verticalen Abstände an der inneren Seite werden die Unterschiede der natürlichen Projection, wonach die jenseits der Medianebene gelegenen Theile des Objects scheinbar kleiner sind, zum Theil oder ganz ausgeglichen. Das Object erscheint ungefähr in derselben Entfernung wie vorher, oder auch trotz der vermehrten Convergenz etwas größer und ferner. Unter diesen Umständen kann die Verbreiterung der nasenwärts gelegenen und Verschmälerung der schläfenwärts gelegenen Theile des Bildes nur auf eine concave Wölbung desselben bezogen werden. Die Krümmung der Verticallinien bedingt die scheinbare Concavität derselben.

Keht man die scharfe Kante des Prisma nach ausen, so erscheinen ebene Objecte im Gegentheil convex gegen den Beobachter.

Mit den hier betrachteten Erscheinungen, wobei zweiäugige Bilder von Objecten bei bald vermehrter, bald verminderter Convergenz der Augen betrachtet werden, hängt auch die Möglichkeit zusammen, Reliefbilder

der Objecte zu construiren, welche bei geringerer Entfernung und bei geringeren Tiefendimensionen als das Original doch den Eindruck des letzteren nach seinen wirklichen Formen und Dimensionen, seiner wirklichen Beschattung, und zwar nicht nur für monoculare, sondern selbst für binoculare Betrachtung nachahmen, indem sie annähernd auch dieselben Unterschiede beider Netzhautbilder herstellen, wie sie die Betrachtung des Originals selbst ergeben würde. Eben deshalb ist ein Reliefbild aus dem richtigen Standpunkte angesehen eine sehr viel vollkommenere Art der Nachahmung, wenigstens der Form des Objects, als es das vollkommenste ebene Bild je sein kann. Es gehören dahin nicht nur die Basreliefs und Hautreliefs der Sculptur, welche menschliche Köpfe, Figuren und Figurengruppen darstellen, sondern auch Theaterdecorationen, welche Landschaften oder Zimmer, Kirchenportale, welche perspectivisch verkürzte Säulenhallen darstellen u. s. w.

Man kann die empirisch von den Künstlern¹ gefundenen Regeln der 660 Reliefconstructions aus einem einfachen stereoskopischen Versuche herleiten. Man bringe eine stereoskopische Doppelzeichnung, deren beide Bilder aber auf getrennten Papierstücken ausgeführt sind, zunächst in solcher Lage zur Vereinigung, daß sie bei richtig gewähltem Convergenzgrade der Augen gerade denselben Anblick wie das Original gewähren. Dann nähere man beide Bilder einander, aber so, daß beide in derselben Ebene bleiben. Dabei wächst die Convergenz der Gesichtslinien, während die Netzhautbilder der beiden Bilder keine, oder wenigstens nur sehr kleine Veränderungen erleiden, und der sinnliche Eindruck bleibt also, abgesehen von der verhältnißmäßig undeutlichen Wahrnehmung der vermehrten Convergenz, fast derselbe wie zuvor. Denken wir uns nun das Object construirt, welches in der neuen Lage der Bilder diesen entsprechen würde, so ist dieses ein Reliefbild des Originalobjects. An dem Relief ist zu unterscheiden eine Hauptebene (Ebene des Hintergrundes), in die alle die unendlich weit entfernten Punkte des Originals zu liegen kommen, und eine ihr parallele Congruenzebene, in der die Punkte liegen, die mit ihrem Bilde zusammenfallen. Wenn das Relief dem Beschauer das Original in natürlicher Größe darstellen soll, muß die Congruenzfläche durch die Augen des Beschauers gehen. Will man dagegen den Anblick des Originals nicht in natürlicher Größe, sondern den eines verkleinerten oder vergrößerten Modells desselben wiedergeben, so kann die Congruenzfläche auch anders gelegt werden, so daß der Gesichtspunkt, welcher den Mittelpunkt beider Augen des Beobachters repräsentirt, nicht in ihr liegt.

Alle Ebenen des Originals bleiben im Reliefbild Ebenen, alle geraden Linien bleiben gerade Linien.

Alle Ebenen des Originals und alle geraden Linien, die der Congruenzfläche parallel sind, bleiben dieser und sich selbst parallel auch im Relief.

¹ J. A. BREYSIG, *Versuch einer Erläuterung der Reliefperspective*. Magdeburg 1798.

Alle anderen einander parallelen Ebenen des Originals schneiden sich im Relief in einer geraden Linie des Hintergrundes.

Alle parallelen Geraden des Originals, die nicht der Congruenzfläche parallel sind, schneiden sich in einem Punkte des Hintergrundes.

Alle Ebenen und Geraden, die durch den Gesichtspunkt gehen, behalten ihre Lage bei auch im Reliefbild.

Endlich, wenn f und g die Abstände beziehlich eines Punktes des Originals und seines Bildes von der Congruenzfläche bezeichnen und g den Abstand des Hintergrundes von der Congruenzfläche, so ist

$$\frac{1}{g} - \frac{1}{f} = \frac{1}{g}$$

die Gleichung, welche den Abstand g giebt; dieselbe, welche den Abstand des Bildes g von einer Concavlinse von der Brennweite $-g$ ergeben würde.

Ganz wie in den Bildern einer solchen werden die Bilder entfernter Gegenstände sehr nahe zusammengerückt, während die von näheren
661 Objecten relativ grössere Tiefendimensionen erhalten. Eine Concavlinse zeigt also ein richtig construirtes Reliefbild der durch sie gesehenen Objecte.

Wenn man die Congruenzebene und die Ebene des Hintergrundes zusammenfallen läßt, so wird aus dem Reliefbild ein perspectivisches ebenes Bild.

In den Reliefbildern werden gleich gut wahrnehmbare Theile der Tiefendimensionen dargestellt durch gleich große Tiefenunterschiede; und in diesem Sinne können wir sagen, daß wir die objective Welt binocular wie in einem Reliefbild sehen. Wie in einem solchen sind selbst große Abstände sehr entfernter Gegenstände von einander, in Richtung der Tiefe genommen, nur sehr schwach wahrnehmbar, während selbst kleine Tiefenabstände naher Objecte deutlich ausgedrückt sind.

Schließlich habe ich noch gewisse Fehler zu besprechen, welche bei der Beurtheilung von Linienrichtungen beim zweiäugigen Sehen eintreten, und auf welche E. HERING aufmerksam gemacht hat. Wenn man nämlich nach einem langen vertical hängenden Faden hinsieht, der sich vor einer entfernteren gleichmäßig angestrichenen Wand befindet, welche keine deutlich sichtbaren Merkmale oder Linien darbietet, nach denen man sich über die Lage der Verticale oder Horizontale orientiren könnte, den Faden selbst aber so lang macht, daß man seinen oberen und unteren Endpunkt nicht sehen kann, oder aber ihn durch einen Hohlcyylinder von der Breite des Gesichts hindurch betrachtet, der den Anblick seiner Enden und seitlicher Gegenstände ausschließt, so kann man bei zweiäugiger Betrachtung doch noch beurtheilen, ob der Faden wirklich vertical sei oder nicht, und wenn er nicht vertical erscheint, ihn durch Verschiebung seines unteren Endes vertical zu machen suchen. Dabei zeigt es sich, wie ich übereinstimmend mit HERING¹ finde, daß, wenn bei der gewählten Kopfstellung die horizontale

¹ E. HERING, *Beiträge zur Physiologie*. Heft V, S. 297.

Visirebene sich in ihrer Primärlage und der Faden sich in der Medianebene befindet, der wirklich verticale Faden auch für vertical gehalten wird. Wenn man dagegen den Kopf nach hinten überbeugt hat, so daß die Visirebene unterhalb ihrer Primärlage sich befindet, während der Faden in der Medianebene bleibt, so muß man das untere Ende des Fadens vom Beobachter entfernen. Ist umgekehrt der Kopf vornübergeneigt und die Visirebene über ihrer Primärlage, so muß man das untere Ende des Fadens dem Beobachter nähern, damit der Faden vertical erscheine.

Wenn der Faden sich nicht in der Medianebene befindet, sondern rechts von derselben, so erscheint er bei aufrechter Kopfhaltung, wenn die horizontale Visirebene in ihrer Primärlage befindlich ist, wieder vertical, wenn er wirklich vertical ist, und wieder muß sein unteres Ende genähert werden, wenn der Kopf vorn überbeugt wird. Um die Ebene annähernd zu bestimmen, in der er geneigt werden muß, [um vertical zu erscheinen, habe ich um den unteren Theil des Fadens einen zweiten gelegt, der eine lose Schlinge bildete, und mittels dieses zweiten den ersten so an mich herangezogen, daß jener vertical schien. Wenn ich dann nach dem horizontalen Faden herablickte, wobei der verticale in stark divergirenden Doppelbildern erscheint, halbirt gewöhnlich der horizontale den Winkel dieser Doppelbilder, woraus folgt, daß der vertical erscheinende Faden, wenigstens nahehin, soweit die hier erreichbare Genauigkeit zu beurtheilen zuläßt, in der den Convergenzwinkel halbirenden Verticalebene liegen mußte.

662

Bei hinten übergeneigtem Kopfe dagegen mußte ich das untere Ende des Fadens von mir wegziehen, wobei die Richtung des ziehenden Fadens aber, so weit erkennbar, dieselbe blieb, wie vorher.

Die Erklärung dieser Thatsachen scheint mir zusammenzuhängen mit dem im vorigen Paragraphen Seite 755 und 756 erwähnten Umstande, daß bei convergirenden Augen die Richtung und Lage der gesehenen Objecte so beurtheilt wird, als wenn das Auge eine der mittleren Sehrichtung parallele Richtung und die entsprechende Raddrehung hätte. Die stattfindende Convergence der Augen wird hierbei nicht berücksichtigt. Wenn wir dies auf den hier vorliegenden Fall übertragen, so würde folgen, daß diejenigen Linien vertical zur Visirebene erscheinen, welche sich abbilden auf solchen Meridianen des Auges, welche bei der Stellung des Auges parallel der mittleren Sehrichtung wirklich vertical sein würden zur Visirebene.

Wenn der Fixationspunkt in der Medianebene liegt, so wird die mittlere Sehrichtung der Medianebene parallel sein, und bei Augen, die dem LISTING'schen Gesetze folgen, keine Drehung um ihre Längsaxe bedingen. Also werden die in der Primärstellung zur Visirebene verticalen Meridiane auch bei geneigter Visirebene zu dieser normal sein, so lange die Augen der mittleren Sehrichtung, also der Medianebene parallel gerichtet sind. Geht man aber zur Convergencestellung über, so werden sie bei nach unten geneigter Visirebene sich so drehen, daß die vorher senkrechten Median-

ebenen derselben nach oben hin convergiren, umgekehrt bei nach oben geneigter Visirebene. Die Schnittlinie jener beiden Meridianebenen würde die scheinbar zur Visirebene senkrechte Linie sein, welche im ersteren Falle nach oben, im andern nach unten sich dem Beobachter nähert.

Bei den seitlich nach unten oder oben geneigten Blickrichtungen sind aber nicht mehr dieselben Meridiane der Augen zur Visirebene normal, wie in der Primärstellung. Dafs auch der scheinbar verticale Faden sich in beiden Augen nicht auf den in der Primärstellung verticalen Meridianen abbildet, kann man leicht erkennen, wenn man gerade vor sich an der Wand einen verticalen Streifen befestigt, der deutliche Nachbilder liefert. Diese Nachbilder bilden dann zum Theil sehr grofse Winkel mit dem scheinbar verticalen Faden, sobald man diesen fixirt. Der scheinbar verticale Faden scheint also hier zu liegen in denjenigen Meridianen, welche bei der mittleren Sehrichtung parallelen Blickrichtung vertical sein würden.¹

663 Zu bemerken ist aber, dafs nach VOLKMANN'S Versuchen, die ich selbst bestätigt finde, bei mangelnder Raddrehung und monocularem Sehen die scheinbar zum Netzauthorizont verticalen Meridiane auch absolut vertical erscheinen, während beim binocularen Sehen die verticale Linie entsprechen mufs den beiden zur Visirebene absolut verticalen Meridianen. Beim binocularen Sehen hebt sich also der einander entgegengesetzte Einflufs, den die Neigung der scheinbar verticalen Meridiane beider Augen auf die Beurtheilung der Stellung einer Senkrechten haben könnte, gegenseitig auf. Dafs dies für die Neigungen nach rechts und links hin geschieht, erklärt sich leicht; zu bemerken aber ist, dafs für die Beurtheilung der Neigung der gesehenen Linie nach vorn- oder nach hintenüber die Abweichung der scheinbar verticalen Meridiane ohne Wirkung bleibt. Wir werden im nächsten Paragraphen sehen, dafs diese Abweichung sich wahrscheinlich an der Anschauung horizontaler Linien erzeugt hat, und daraus erklärt sich dann, dafs sie uns nicht über verticale Linien täuscht.

Ein ähnlicher Irrthum über die Tiefendistanz kommt nun übrigens nicht blofs bei solchen Linien vor, die durch den Fixationspunkt gehen und in der Medianebene liegen, sondern auch bei anders gerichteten Linien, die durch den Fixationspunkt gehen und nur nahehin senkrecht zur mittleren Sehrichtung sind. Die scheinbare Lage solcher Linien entspricht dem vorher aufgestellten Gesetze. Wir deuten sie so, als wenn wir dieselben Netzhausbilder erhalten hätten bei einer Stellung der Augen, parallel der mittleren Sehrichtung.

In dieser Beziehung hat RECKLINGHAUSEN gezeigt, dafs, wenn man auf einer ebenen Fläche einen Stern zeichnet, aus einer Anzahl von Linien

¹ Herr E. HERING hat diese Erscheinungen mit der Horopterlehre in Verbindung gebracht, wovon im folgenden Paragraphen mehr. Ich bemerke, dafs die vertical zur Visirebene erscheinenden Linien bei mir nie im Horopter liegen, sondern stets in gekreuzten Doppelbildern erscheinen. Da bei Herrn HERING'S Augen die Abweichung der zum Netzauthorizont wirklich und scheinbar verticalen Meridiane fehlt oder sehr gering ist, so wird seine Regel für sein Auge, wenigstens in den Medianstellungen, von denen er spricht, individuelle Richtigkeit haben.

bestehend, die sich in einem Punkte schneiden, und man diesen Mittelpunkt fest mit nach oben gerichtetem Blick fixirt, die nach oben gerichteten Strahlen des Sterns in einer concaven Kegelfläche zu liegen scheinen, die nach unten gerichteten in einer convexen; umgekehrt, wenn man den Kreuzungspunkt der Strahlen mit nach unten gerichtetem Blicke fixirt. Ich finde die Täuschung noch auffallender, wenn man die nahehin horizontalen Strahlen wegläßt und statt der auf Papier gezeichneten Linien feine glatte Drähte benutzt, die man in einem Korke so feststeckt, daß sie von einem Punkte aus divergiren und in einer Ebene liegen.

Der Theorie nach, welche aus dem oben angeführten Gesetze hergeleitet ist, müssen die besagten Linien scheinbar in einer Kegelfläche zweiten Grades liegen, deren Spitze im Fixationspunkte liegt, die ferner durch die beiden Blicklinien geht und deren Durchschnitt mit der durch die Mittelpunkte der Augen senkrecht zur Visirebene gelegten Ebene eine Ellipse ist, deren verticale Axe etwas größer ist, als die horizontale.

RECKLINGHAUSEN hat auch durch Versuche die Lage solcher Linien ermittelt, die zur mittleren Sehrichtung bei gehobenem oder gesenktem Blicke senkrecht erschienen. Er benutzte dazu einen feinen glatten Draht, der in der Mitte mittels eines feinen Charniergelenks so verstellt werden konnte, daß er verschiedene Neigung gegen die mittlere Sehrichtung (Halbirungslinie des Convergenzwinkels) erhielt. Das Gelenk, was ihn trug, war andererseits an einer runden Eisenstange befestigt, welche in der Verlängerung der mittleren Sehrichtung lag und um ihre Längsaxe gedreht werden konnte. Durch Drehung um diese Axe konnte der Ebene, in welcher der Draht sich bewegte, verschiedene Neigung gegen die Visirebene gegeben und bei jeder Stellung dieser Ebene die Stellung des Drahtes gesucht werden, 664 bei welcher sein oberes und unteres Ende gleich weit vom Beobachter entfernt schien.

Die Theorie fordert für die genannten Lagen des Drahtes wiederum eine durch den Fixationspunkt und die Blicklinien gehende Kegelfläche zweiten Grades. Die Messungen von RECKLINGHAUSEN stimmten sehr gut mit dieser Folgerung der Theorie. Er nannte diese Fläche die Normalfläche, weil in ihr die zur mittleren Sehrichtung scheinbar normalen Linien liegen.

Diese Normalfläche würde für solche Augen, welche keine Abweichung des scheinbar verticalen Meridians haben, mit der im nächsten Paragraphen zu untersuchenden Horopterfläche für Linien, die durch den Fixationspunkt gehen, zusammenfallen. Dagegen ist sie mit dieser nicht identisch bei Augen, deren scheinbar verticale Meridiane nicht mit den wirklich verticalen zusammenfallen,¹ wie sich weiter unten zeigen wird.

Wenn man ein System concentrischer Kreise auf ein Blatt zeichnet und

¹ RECKLINGHAUSEN selbst hat diesen Unterschied nicht gemacht; denn obgleich er die Abweichung des scheinbar verticalen Meridians entdeckt hat, hat er den Einfluß dieser Abweichung auf die Lage der identischen Stellen noch nicht gekannt.

bei convergirenden Gesichtslinien und geneigter Blickebene deren Mittelpunkt fixirt, so erhalten diese Kreise ebenfalls eine kleine scheinbare Drehung um ihre horizontale Axe in demselben Sinne, wie die verticalen Linien, aber von geringerer Größe. Hat man nun einen verticalen Diameter der Kreise hinzugefügt, so wird dieser stärker geneigt, als die Kreise, und löst sich scheinbar von ihnen los. Bei gehobener Blickebene erscheint das obere Ende des Durchmessers dem Beobachter näher als die Ebene der Kreise, das untere entfernter. Umgekehrt bei gesenkter Blickebene.

Da die horizontal verlaufenden Bögen der Kreise keine sichere binoculare Anschauung geben, erscheinen sie auch zuweilen winkelig verbogen und dem Durchmesser anzuhaften.

Auch dieser Versuch gelingt sehr viel leichter, wenn man Kreise und Durchmesser aus sehr feinen Drähten zusammenfügt. Die hierbei vorkommende Täuschung erfordert, daß der Beobachter am Bilde die stattgefundene Drehung der Augen nicht erkennen könne. Auf einem Papierblatte sind in der Regel Merkpunkte genug, an denen der Beobachter erkennt, daß er zwei gegen einander gedrehte Bilder desselben Objects vor sich hat. Die Objecte für die hier beschriebenen Versuche müssen so beschaffen sein, daß sie auch unter Voraussetzung kleiner Drehungen ihres Netzhautbildes noch eine reelle Deutung zulassen. Wir fanden oben ein ähnliches Verhältniß für die Erkennung der Convergenz aus gewissen Eigenthümlichkeiten der Bilder.

Regeln der stereoskopischen Projection.

Es sei in *Fig. 235* die Ebene des Papiers die Visirebene, in der *P* und *Q* die Mittelpunkte der Visirlinien für beide Augen darstellen. Es sei *AB* der

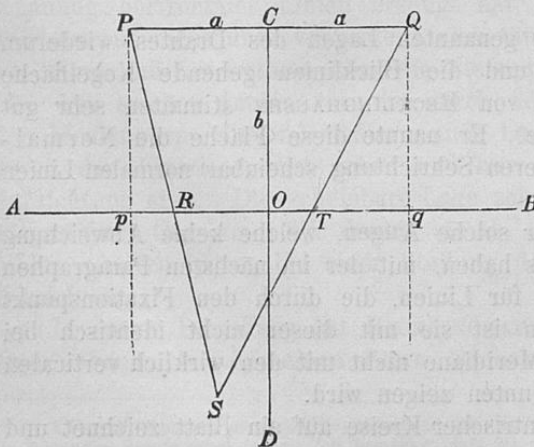


Fig. 235.

Durchschnitt einer stereoskopischen Zeichnung, deren Ebene normal sowohl zur Visirebene als zur Medianebene des Kopfes sei, der gewöhnlichen Haltung entsprechend, in der man stereoskopische Zeichnungen zu betrachten pflegt. *CD* sei die Medianlinie der Visirebene, *S* ein darzustellender Punkt, der auch außerhalb der Visirebene liegen kann; in diesem Falle stellt das *S* in der Zeichnung den Fußpunkt des von ihm auf die Visirebene gefällten Perpendikels dar. Um die Projection des Punktes *S* in den beiden Zeichnungen zu finden, ziehe man die Linien *SP*

und *SQ*, welche die Ebene der Zeichnung in *R* und *T* schneiden. Die letzteren beiden Punkte sind diejenigen, in welchen *S* beziehlich für das Auge *P* oder *Q*

darzustellen ist. Um die Lage dieser Punkte zu bezeichnen, wollen wir rechtwinkelige Coordinaten benutzen, welche beziehlich der Visirebene, der Medianebene und der Ebene der zu machenden Zeichnung parallel seien, deren Mittelpunkt O der Durchschnittspunkt der drei genannten Ebenen ist. Und zwar sei OA die Richtung der positiven x , OD die der positiven z , die y senkrecht zur Ebene des Papiers. Bezeichnen wir demgemäß die Coordinaten

1) des Punktes P

mit $x = + a$
 $z = - b$
 $y = 0$

2) des Punktes Q

$x = - a$
 $z = - b$
 $y = 0$

3) des Punktes S

mit $x = \alpha$
 $y = \beta$
 $z = \gamma$

4) des Punktes R

mit $x = \xi_0$
 $y = v_0$
 $z = 0$

5) des Punktes T

$x = \xi_1$
 $y = v_1$
 $z = 0$

so sind die Bedingungen dafür, daß die Punkte P, R, S in einer geraden Linie liegen,

$$\frac{\alpha - a}{\alpha - \xi_0} = \frac{\beta}{\beta - v_0} = \frac{\gamma + b}{\gamma} \dots \dots \dots 1)$$

und die Bedingungen, daß Q, T, S in einer geraden Linie liegen,

$$\frac{\alpha + a}{\alpha - \xi_1} = \frac{\beta}{\beta - v_1} = \frac{\gamma + b}{\gamma} \dots \dots \dots 2).$$

Zunächst zeigt sich, daß

$$v_0 = v_1 = \frac{\beta b}{\gamma + b} \dots \dots \dots 1 a),$$

daß also in beiden Bildern die Höhen entsprechender Punkte über der Horizontal-
 linie AB gleich groß sein müssen.

Die beiden Gleichungen ergeben ferner

$$\xi_0 = \alpha - \frac{\gamma(\alpha - a)}{\gamma + b} = \frac{\alpha b + \gamma a}{b + \gamma}$$

$$\xi_1 = \alpha - \frac{\gamma(\alpha + a)}{\gamma + b} = \frac{\alpha b - \gamma a}{b + \gamma}$$

666 Die Differenz ε dieser beiden Werthe

$$\varepsilon = \xi_0 - \xi_1 = \frac{2\gamma a}{b + \gamma} \dots \dots \dots 1 b)$$

ist unabhängig von den Werthen von α und β ; sie ist also für alle Objectpunkte dieselbe, welche als in gleicher Entfernung hinter der Ebene der Zeichnung liegend angenommen werden. Diese Differenz ($\xi_0 - \xi_1$) bezeichnet die Größe der Verschiebung, welche die Punkte der einen Zeichnung im Vergleich zu denen der andern nach rechts oder nach links hin erlitten haben. Dabei ist angenommen, daß die Zeichnungen so aufeinander gelegt sind, daß Punkte, die in dieser Ebene der Zeichnung selbst gedacht werden (z. B. die Linie, welche die Zeichnung einrahmt), aufeinander fallen. In vielen Fällen ist es dagegen passender, die Zeichnungen so zu vergleichen, daß unendlich weit entfernte Punkte aufeinander fallen, zum Beispiel die Punkte p, q , welche durch die beiden parallel mit CD gerichteten Blicklinien Pp und Qq getroffen werden. Setzen wir $\gamma = \infty$, so wird nach Gleichung 1 b)

$$\varepsilon_\infty = 2a$$

und setzen wir

$$e = \varepsilon_\infty - \varepsilon$$

und

$$b + \gamma = \varrho,$$

so ist

$$e = \frac{2ab}{\varrho} \dots \dots \dots 1 c).$$

In dieser Gleichung bezeichnet $2a$ die Distanz beider Augen, b den Abstand der Zeichnung, ϱ den Abstand des Objects von einer Ebene, die durch die Mittelpunkte beider Augen senkrecht zur Visirebene gelegt ist. Für alle reellen, vor den Augen liegenden Punkte muß e immer positiv sein, weil $2a, b$ und ϱ immer positiv sind. Dabei liegt in dem Bilde für das rechte Auge jeder nähere Punkt mehr nach links als in dem des linken Auges. Zugleich läßt die Gleichung 1 c) erkennen, daß die stereoskopische Differenz e für sehr große Werthe von ϱ sehr klein ist und erst für kleine Werthe von ϱ groß wird.

Den Umstand, daß die Größe von e gleich groß ist für Gegenstände, die alle in derselben, der Ebene der Zeichnung parallelen Ebene liegen, hat O. N. ROOD¹ benutzt, um ein Instrument zu construiren, mit dem man von gegebenen einzelnen perspectivischen Zeichnungen beliebiger Objecte ein Paar zusammengehörige stereoskopische Zeichnungen copiren kann. Das Original, mit Oel transparent gemacht, wird auf einer horizontalen Glasplatte befestigt und von unten her beleuchtet. Darauf wird ein ebener viereckiger Rahmen gelegt, dessen untere Seite mit Schreibpapier überzogen ist. Dieser Rahmen kann mittels einer Stellschraube um kleine Distanzen von rechts nach links verschoben werden. Man zeichnet nun zunächst eine Zeichnung vollständig nach, ohne die Stellung des Rahmens zu verändern, und die andere so, daß man mit den ganz vorn befindlichen Linien beginnt und dann zu den nächst entfernten übergeht und so fort. Bei jedem Uebergange aber zu entfernten Punkten verschiebt man den Rahmen, der die Copie trägt,

¹ O. N. ROOD, *American Journal of Science and Arts*. Vol. XXXI, p. 71, 1861.

ein wenig, entsprechend dem Tiefenabstande. So erhält man zwei Zeichnungen, welche stereoskopisch combinirt ein körperliches Relief zeigen.

Wenn zwei Punkte von verschiedenem Abstände q_1 und q_2 stereoskopisch projectirt sind und die entsprechenden stereoskopischen Differenzen mit e_1 und e_2 bezeichnet werden, so ist

$$e_1 - e_2 = 2ab \left(\frac{1}{q_1} - \frac{1}{q_2} \right) \dots \dots \dots 2a)$$

Nehmen wir hierin für $e_1 - e_2$ den kleinsten in der Zeichnung erkennbaren Abstand, so erhalten wir zusammengehörige Werthe der Abstände q_1 und q_2 , welche an der Grenze der erkennbaren Unterschiede liegen. Setzen wir zur Abkürzung

$$\frac{2ab}{e_1 - e_2} = f,$$

so wird die Gleichung 2a)

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{q_1} - \frac{1}{q_2}$$

die oben für diesen Fall gegebene Formel. Wenn wir die mittlere geometrische Proportionale zwischen q_1 und q_2 mit r bezeichnen, so läßt sich die letzte Formel auch schreiben

$$q_2 - q_1 = \frac{r^2}{f},$$

d. h. die stereoskopisch unterscheidbaren Unterschiede der Entfernung wachsen wie die Größe des Quadrats der mittleren Entfernung r .

Um die Veränderungen zu übersehen, welche das stereoskopische Relief bei verschiedenen Verschiebungen der Bilder liefert, müssen wir die scheinbaren Coordinaten des Objectpunktes α, β, γ ausdrücken durch die Coordinaten seiner beiden Bilder ξ_1, ξ_2, v . Aus den obigen Gleichungen 1) und 2) ergibt sich

$$\frac{\alpha - a}{\alpha - \xi_0} = \frac{\alpha + a}{\alpha - \xi_1}$$

oder

$$\alpha = \frac{a(\xi_1 + \xi_0)}{2a + \xi_1 - \xi_0}$$

$$\beta = \frac{2va}{2a + \xi_1 - \xi_0}$$

$$\gamma = \frac{b(\xi_0 - \xi_1)}{2a + \xi_1 - \xi_0}$$

oder wenn wir wie vorher die stereoskopische Differenz

$$2a + \xi_1 - \xi_0 = e$$

so ergibt sich aus den Gleichungen 4) und 4 a)

$$A\alpha_1 + B\beta_1 + \left[C - \frac{D}{p} \right] \varrho_1 + D = 0 \dots \dots \dots 5 a).$$

Die Bildpunkte liegen also auch in einer Ebene; und wenn $A = B = 0$, das heisst die Ebene des Originals der durch beide Augen gehenden Verticalebene $\varrho = 0$ parallel ist, so ist die Bildebene derselben Ebene also auch ihrem Original parallel. Wenn andererseits $D = 0$ ist, das heisst die Originalebene durch den Mittelpunkt der Coordinaten, oder den Gesichtspunkt geht, so fällt die Bildebene ganz mit ihrem Original zusammen.

Wenn wir im Original eine Schaar paralleler Ebenen haben, deren Gleichung in der Form 5) gegeben ist und die einzeln dadurch unterschieden sind, dass D für jede einen andern Werth hat, so reducirt sich die Gleichung 5 a) für die Bildebenen, wenn man darin $\varrho_1 = p$ setzt, auf

$$A\alpha_1 + B\beta_1 + Cp = 0 \dots \dots \dots 4 b)$$

welche unabhängig von D ist. Das heisst die Abbilder aller jener parallelen Ebenen schneiden die Ebene $\varrho_1 = p$ (die Hauptebene) in derselben geraden Linie, deren Gleichung in 4 b) gegeben ist.

Die Abbilder einer Schaar paralleler Ebenen schneiden sich also entweder einander und die Hauptebene gar nicht, oder sie schneiden sich und die Hauptebene alle in einer geraden Linie, ihrer Fluchtlinie. Da nach der vorher gemachten Bemerkung diejenige in jener Schaar paralleler Ebenen, welche durch den Mittelpunkt des Coordinatensystems geht, mit ihrem Bilde zusammenfallen muss, so muss diese Ebene auch die Hauptebene in der Fluchtlinie schneiden. Um die Fluchtlinie einer Schaar paralleler Ebenen zu finden, lege man ihnen parallel also eine Ebene durch den Gesichtspunkt; diese schneidet die Hauptebene in der gesuchten Fluchtlinie.

Wenn wir ferner die Gleichungen 4) in die Form setzen

$$\alpha_1 - \alpha + \frac{\alpha \varrho_1}{p} = 0, \quad \beta_1 - \beta + \frac{\beta \varrho_1}{p} = 0,$$

$$\varrho_1 = \frac{\varrho ab}{ab + \varrho \eta},$$

so ergibt sich, dass für $\varrho = 0$ sein muss

$$\varrho_1 = \varrho = 0, \quad \alpha_1 = \alpha, \quad \beta_1 = \beta,$$

dass also für jeden Punkt der Ebene $\varrho = 0$ das Abbild mit dem Original zusammenfällt.

Nennen wir diese Ebene $\varrho = 0$ die Congruenzebene (BREYSIG's Bildebene), so ist das Bild jeder Ebene A des Originals zu construiren, indem man eine Ebene legt durch die Schnittlinie von A mit der Congruenzebene und die zu A gehörige Fluchtlinie.

Gerade Linien des Originals sind zu betrachten als Schnittlinien je zweier Ebenen. Ihr Bild muss die Schnittlinie der Abbilder beider Ebenen, also wieder eine gerade Linie sein. Eine Schaar paralleler gerader Linien kann angesehen werden als das System der Schnittlinien von zwei Schaaren paralleler Ebenen. Die

Abbilder dieser Ebenen müssen sich beziehlich mit der Hauptebene in den beiden zugehörigen Fluchtlinien schneiden, und ihre Schnittlinien, das heißt die Abbilder aller jener parallelen geraden Linien des Originals werden durch den Schnittpunkt beider Fluchtlinien gehen müssen, wenn die beiden Fluchtlinien sich überhaupt schneiden, was sie nicht thun würden, wenn die Schaar der gegebenen geraden Linien der Hauptebene und Antlitzebene parallel wäre.

Die Abbilder paralleler gerader Linien, wenn sie der Hauptebene nicht parallel sind, schneiden diese also in einem Punkte, dem Fluchtpunkte.

Dieser Fluchtpunkt für eine gerade Linie des Originals, die der Hauptebene nicht parallel ist, wird gefunden, wenn man durch den Gesichtspunkt mit der betreffenden Geraden eine Parallele legt; wo diese die Hauptebene schneidet, ist der Fluchtpunkt.

Das Abbild einer geraden Linie des Originals findet man, indem man ihren Schnittpunkt mit der Congruenzebene durch eine Gerade mit dem zugehörigen Fluchtpunkte verbindet.

Man sieht, dies sind genau dieselben Constructionsregeln, welche für Reliefbilder vorgeschrieben worden sind, mit der einzigen Ausnahme, daß bei Reliefbildern die Ebene, deren Punkte mit ihren Bildern zusammenfallen (BREYSIG's Bildebene), nicht nothwendig durch die Augen selbst geht. Diese Bedingung ist nämlich nur dann nothwendig zu erfüllen, wenn die Größe des durch das Reliefbild dargestellten Gegenstandes unverändert erscheinen soll.

Denkt man sich nämlich sämtliche Coordinaten der Punkte des Originals proportional verkleinert oder vergrößert, setzt man also in die Gleichungen 4) statt

beziehlich

$$\begin{array}{ccc} \alpha, & \beta, & \varrho, \\ n\alpha, & n\beta, & n\varrho, \end{array}$$

so verwandeln sich die Gleichungen 4) in

671

$$\left. \begin{array}{l} \frac{\alpha_1}{\varrho_1} = \frac{\alpha}{\varrho} \dots \dots \dots \\ \frac{\beta_1}{\varrho_1} = \frac{\beta}{\varrho} \dots \dots \dots \\ \frac{1}{\varrho_1} = \frac{1}{n\varrho} + \frac{1}{p} \dots \dots \dots \end{array} \right\} 6).$$

Wenn ϱ unendlich ist, wird $\varrho_1 = p$, also die Ebene $\varrho_1 = p$ ist die Hauptebene, in der die unendlich entfernten Punkte abgebildet werden.

Wenn im Original die Ebene

$$A\alpha + B\beta + C\varrho + D = 0 \dots \dots \dots 5)$$

besteht, so erhält man mittels der Gleichungen 6) für das Bild

$$A\alpha_1 + B\beta_1 + \left[C - D \frac{n}{p} \right] \varrho_1 + Dn = 0 \dots \dots 5 b).$$

punkte gleich weit von einander entfernt sind wie die Mittelpunkte beider Augen, so wachsen dadurch die Größen e , ζ und v der Gleichungen 3 a) in demselben Maafse, wie die scheinbare Entfernung des Bildes b ; es bleiben demnach die Werthe der Größen α , β und ρ ungeändert. Solche Linsen verändern also nicht die scheinbare Lage und Gröfse des stereoskopischen Reliefs. Es ist dies wichtig wegen der Brillengläser, welche, wenn sie richtig gestellt sind, keine Gröfsenveränderung im Gesamtbilde hervorbringen, trotzdem jedes einzelne optische Bild in der That vergrößert oder verkleinert ist.

Damit aber Brillengläser richtige Gröfsen und Entfernungen der Objecte zeigen, ist es wesentlich nöthig, dafs ihre optischen Mittelpunkte gerade so weit von einander entfernt sind, wie die Knotenpunkte der parallel gestellten Augen. Wenn in *Fig. 236* a_0 der optische Mittelpunkt eines concaven Brillenglases ist, b das Object, $a_0 f_0$ die optische Axe des Glases, so liegt das Bild β_0 von b in der Verbindungslinie von a_0 mit b ; und wenn man von b und β_0 die Lothe $b f_0$ und $\beta_0 \varphi_0$ auf die optische Axe fällt, die Brennweite des Glases mit p bezeichnet und alsdann setzt

$$a_0 f_0 = r \quad a_0 \varphi_0 = s,$$

so ist nach den Theoremen des § 9, S. 84:

$$\frac{1}{r} - \frac{1}{s} = - \frac{1}{p}.$$

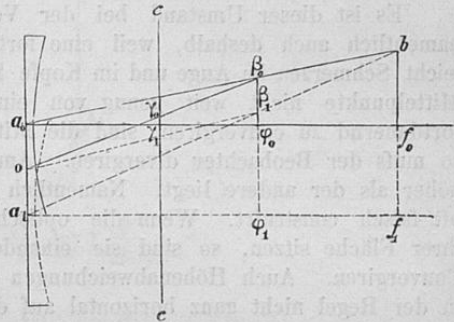


Fig. 236.

Dadurch ist die Lage von β_0 gegeben. Wenn nun die Linse parallel ihrer Hauptebene verschoben wird, so dafs ihr optischer Mittelpunkt in a_1 und ihre optische Axe in $a_1 f_1$ liegt, so wird das Bild von b in die Verbindungslinie von b mit a_1 rücken, übrigens in dem Lothe $\varphi_0 \beta_0$ bleiben. Das Bild verschiebt sich also um die Länge

$$\beta_0 \beta_1 = a_0 a_1 \times \frac{\varphi_0 f_0}{a_0 f_0} = \alpha \cdot \frac{r - s}{r},$$

wenn wir die Verschiebung des Glases $a_0 a_1 = \alpha$ setzen. Daraus folgt mit Hülfe der obigen Gleichung zwischen r und s

$$\beta_0 \beta_1 = \alpha \frac{s}{p} = \alpha \frac{r}{r + p}.$$

Denken wir uns dicht hinter den Concavlinen bei o ein Auge stehend, welches nach den Bildern β_0 und β_1 hinblickt und diese Bilder auf die feste Ebene cc projicirt in γ_0 und γ_1 , so ist die scheinbare Verschiebung der Projection auf dieser Ebene, deren Abstand von a_0 wir mit A bezeichnen wollen,

$$\gamma_0 \gamma_1 = \beta_0 \beta_1 \cdot \frac{A}{s} = \frac{\alpha A}{p},$$

also unabhängig von der Lage des Objects b . Die Verschiebung des optischen Bildes bei Verschiebung der Concavlinse von a_0 nach a_1 ist also gerade dieselbe, als wenn man eine perspectivische Zeichnung des Objects auf der Ebene cc um die Größe $\gamma_0\gamma_1$ verschöbe. Denken wir uns die Projectionsebene cc im Brennpunkte der Linse, machen wir also $A = p$, so wird $\gamma_0\gamma_1 = \alpha$, also gleich der wirklichen Verschiebung des Glases.

Die Erscheinungen, welche entstehen, wenn Brillengläser vor den Augen seitwärts verschoben werden, sind also dieselben, welche bei gegenseitiger Entfernung oder Näherung stereoskopischer Zeichnungen sich zeigen. Der Versuch bestätigt vollkommen diese Folgerung der Theorie. Stehen die Centren der Concavbrillengläser einander näher als die Augenmittelpunkte, so erscheinen die Gegenstände zu nah, im andern Falle zu weit. Bei Convexbrillen ist es umgekehrt, weil p das entgegengesetzte Vorzeichen hat.

Es ist dieser Umstand bei der Verfertigung der Brillen¹ wohl zu beachten, namentlich auch deshalb, weil eine fortgesetzte angestrengte Haltung des Auges leicht Schmerzen im Auge und im Kopfe hervorbringt. Concavbrillen, deren optische Mittelpunkte nicht weit genug von einander entfernt sind, zwingen die Augen fortdauernd zu convergiren; sind die Mittelpunkte im Gegentheile zu weit entfernt, so muß der Beobachter divergiren. Am schlimmsten ist es, wenn ein Mittelpunkt höher als der andere liegt. Namentlich die Nasenklemmer sind in dieser Beziehung oft falsch construiert. Wenn die optischen Mittelpunkte der Gläser in der Mitte ihrer Fläche sitzen, so sind sie einander zu nah und zwingen zum dauernden Convergiren. Auch Höhenabweichungen treten leicht ein, weil der Klemmer sich in der Regel nicht ganz horizontal auf dem Nasenrücken festsetzt.

Blickt man nach wirklichen Objecten durch zwei parallel gestellte Teleskope, zum Beispiel Binocles, so erhält man denselben Erfolg, als wenn man die entsprechenden stereoskopischen Zeichnungen dem Auge nähert; die Gesichtswinkel werden für alle Theile des Bildes gleichmäÙig vergrößert. Das entspricht nun, wie wir oben für diesen Fall bei den Zeichnungen gesehen haben, einer Annäherung und Verkürzung der Tiefendimensionen des Objects ohne Veränderung seiner zur Gesichtslinie senkrechten Dimensionen. Durch Binocles erscheinen also die Objecte genähert, übrigens in natürlicher Größe, aber verflacht, als Basrelief. Das ist auch an menschlichen Gesichtern deutlich zu erkennen; sie nehmen immer einen unnatürlichen, halb bildartigen Ausdruck an.

Die Theorie des Telestereoskops ergiebt sich leicht, wenn man bedenkt, daß ein Beobachter die Objecte in einem Planspiegel so sieht, nur symmetrisch von rechts nach links umgekehrt, wie das Spiegelbild des Beobachters die wirklichen Gegenstände durch das Glas des Spiegels hindurch sehen würde.

Es sei AA Fig. 237 (S. 823) der eine, BB der andere Spiegel, C das Auge des Beobachters. Das Auge C sieht im ersten Spiegel BB die Dinge so, wie das Spiegelbild D dieses Auges sie durch BB hindurch sehen würde. Dabei muß die Entfernung $Cb = Db$ sein. Das Spiegelbild D sieht wieder die Dinge im Spiegel AA so, wie sie E , das von AA entworfene Spiegelbild, von D durch AA hindurch sehen würde, und der Ort von E ist dadurch bestimmt, daß Ea längs des reflectirten Strahls gemessen gleich Da längs des einfallenden gemessen sein muß. Daraus folgt, wie schon oben erwähnt ist, daß das Auge C

¹ Die stereoskopischen Erscheinungen, zu denen Brillengläser Veranlassung geben, sind genauer untersucht von F. C. DONDERS in *Anomalies of accommodation and refraction*. London 1864. p. 152–169.

durch die zwei Spiegel die Landschaft so sieht, wie sie von E aus direct gesehen erscheinen würde. Nun ist die stereoskopische Differenz e zweier Bilder, projectirt auf eine Zeichnung in der Entfernung b , wie Gleichung 1 c) lehrt,

$$e = \frac{2Ab}{r},$$

wo $2A$ die Entfernung der beiden Gesichtspunkte bezeichnet, und r die Entfernung des Objects von der gemeinsamen verticalen Ebene beider Augen. Jene Entfernung $2A$ ist im Telestereoskop die Entfernung der beiden von je zwei Spiegeln entworfenen Spiegelbilder der Augen des Beobachters ($r_1 \varrho_1$ der Fig. 233, Seite 794). Setzen wir nun diesen Werth von e in die Gleichungen 3 a), so wird, wenn unendlich entfernte Punkte mit parallelen Gesichtssachsen gesehen werden:

$$\alpha = r \frac{a}{A} \frac{r}{b} = r \frac{\varrho}{b}$$

$$\beta = v \frac{a}{A} \frac{r}{b} = v \frac{\varrho}{b}$$

$$\varrho = b \frac{a}{A} \frac{r}{b}.$$

Danach verhalten sich also α , β , ϱ zu einander beziehlich wie r , v , b , welche letzteren wir als die wirklichen Entfernungen ansehen können, aber die scheinbare Entfernung ϱ ist kleiner als r im Verhältniß $\frac{a}{A}$, und in demselben Verhältnisse sind also auch die übrigen scheinbaren Dimensionen reducirt. Die Landschaft erscheint also dann, wie ein richtig construirtes verkleinertes Modell.

Dasselbe gilt für photographische Landschaftsbilder, wenn wir für $2A$ die Entfernung der beiden Punkte nehmen, an denen sich der Mittelpunkt des Objectivglases der *Camera obscura* bei den beiden photographischen Aufnahmen befunden hat. Bei der Anordnung des Stereoskops ist darauf zu achten, daß unendlich entfernte Punkte der Photographien mit parallelen Gesichtslinien combinirt werden, und daß die Abstände der Platte von dem Auge oder den Linsen des Stereoskops gleich denen der Platte in der *Camera obscura* von dem Objectivglase derselben sein müssen; sonst bekommt man ein falsches Relief. Beide Bedingungen sind gewöhnlich in den käuflichen Stereoskopen und den dazu gehörigen Bildern nicht erfüllt.

RECKLINGHAUSEN's Normalfläche. Man denke sich ein rechtwinkeliges 675
 Coordinatensystem, dessen Mittelpunkt im Fixationspunkte liegt, die xy Ebene in

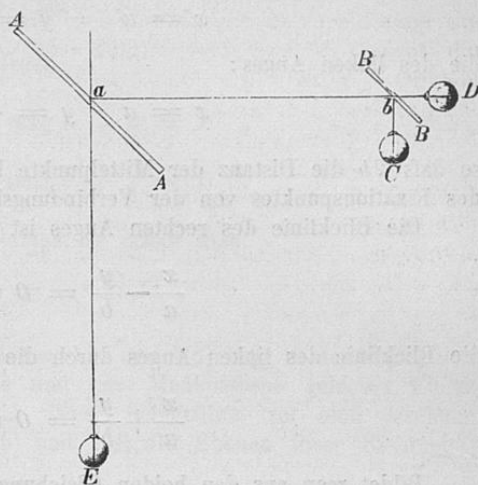


Fig. 237.

der Visirebene; die zx Ebene sei die Medianebene des Körpers. Die Coordinaten des rechten Auges seien:

$$x = a \quad y = b \quad z = 0,$$

die des linken Auges:

$$x = a \quad y = -b \quad z = 0,$$

so daß $2b$ die Distanz der Mittelpunkte beider Augen bezeichnet, a den Abstand des Fixationspunktes von der Verbindungslinie der Augenmittelpunkte.

Die Blicklinie des rechten Auges ist gegeben durch die Gleichungen

$$\frac{x}{a} - \frac{y}{b} = 0 \text{ und } z = 0 \quad \dots \dots \dots 1),$$

die Blicklinie des linken Auges durch die Gleichungen

$$\frac{x}{a} + \frac{y}{b} = 0 \text{ und } z = 0 \quad \dots \dots \dots 1 a).$$

Bildet man aus den beiden Gleichungen 1) durch Multiplication der ersten mit dem constanten Factor p und Addition der zweiten die neue Gleichung

$$p\left(\frac{x}{a} - \frac{y}{b}\right) + z = 0 \quad \dots \dots \dots 1 b),$$

so ist dies die Gleichung einer Ebene, die durch die rechte Blicklinie geht, denn für alle Punkte dieser Blicklinie sind die beiden Gleichungen 1), folglich auch 1 b) erfüllt. Nach bekannten Sätzen ist der Cosinus des Winkels α , den die Normale dieser Ebene mit der z Axe, oder die Ebene selbst mit der Visirebene, $z = 0$, macht, gegeben durch die Gleichung

$$\cos \alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{p^2}{a^2} + \frac{p^2}{b^2}}} \quad \dots \dots \dots 1 c).$$

Bilden wir entsprechend aus den Gleichungen 1 a) die neue

$$-p\left(\frac{x}{a} + \frac{y}{b}\right) + z = 0 \quad \dots \dots \dots 1 d),$$

so geht diese durch die linke Blicklinie, und der Werth von $\cos \alpha$ ist für sie derselbe, wie in 1 c).

Aus 1 c) folgt

$$p = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2}}}$$

oder wenn wir setzen

$$a = r \cos \gamma, \quad b = r \sin \gamma,$$

wo γ der halbe Convergenzwinkel, und r die Entfernung jedes Auges vom Fixationspunkte ist:

$$p = r \operatorname{tang} \alpha \sin \gamma \cdot \cos \gamma,$$

wonach die Gleichungen 1 b) und 1 d) werden:

$$(x \sin \gamma - y \cos \gamma) \operatorname{tang} \alpha + z = 0 \quad . \quad . \quad . \quad 1 \text{ b}).$$

$$- (x \sin \gamma + y \cos \gamma) \operatorname{tang} \alpha + z = 0 \quad . \quad . \quad . \quad 1 \text{ d}).$$

Subtrahirt man die zweite von der ersten, so erhält man

$$x \sin \gamma = 0,$$

das heisst, die Schnittlinie der beiden Ebenen 1 b) und 1 d) liegt in der durch den Fixationspunkt, senkrecht zur Visirebene und zur Medianebene gelegten Ebene $x = 0$, welches auch der Winkel α sei. Diese Schnittlinie sei eine gesehene Linie, dann sind die beiden Ebenen 1 b) und 1 d) die Ebenen ihrer Richtungsstrahlen.

War nun die bisher betrachtete Stellung der Augen eine ohne Raddrehung, so können wir übergehen zu einer Stellung mit Raddrehung, indem wir in 1 b) den Winkel α und δ vergrößern, in 1 d) um ebenso viel verkleinern. Dann bekommen wir für die neue Lage beider Ebenen:

$$\operatorname{tang} (\alpha + \delta) = \frac{z}{y \cos \gamma - x \sin \gamma}$$

$$\operatorname{tang} (\alpha - \delta) = \frac{z}{y \cos \gamma + x \sin \gamma}.$$

Bilden wir hieraus die Tangente der Differenz beider Winkel, so erhalten wir:

$$\operatorname{tang} (2\delta) = \frac{2zx \sin \gamma}{y^2 \cos^2 \gamma - x^2 \sin^2 \gamma + z^2}$$

oder

$$z^2 + y^2 \cos^2 \gamma - x^2 \sin^2 \gamma - 2zx \sin \gamma \cdot \operatorname{cotang} (2\delta) = 0 \quad . \quad . \quad 2),$$

welches die Gleichung eines Kegels ist, dessen Spitze im Mittelpunkt der Coordinaten liegt. Aus der Gleichung 2) erhellt nämlich, dafs wenn x , y , z Werthe sind, die der Gleichung 2) genügen, auch nx , ny und nz genügen; daraus folgt, dafs jede durch einen Punkt der Fläche 2) und den Anfangspunkt der Coordinaten gezogene gerade Linie ganz in der Fläche 2) liegt, dafs diese also ein Kegel ist.

Die in den Gleichungen 1) und 1 a) angegebenen Werthe der Coordinaten für die Blicklinien genügen ebenfalls der Gleichung 2). Die Kegelfläche geht also durch die Blicklinien.

Da nun nach den oben aufgestellten Grundsätzen bei medianem Fixationspunkte die Gesichtsbilder so ausgelegt werden, als wäre keine Raddrehung erfolgt, so

werden das vor der Drehung in der Ebene $x = 0$ gezogene Strahlenbündel und das auf dem Kegel der Gleichung 2) gelegene nicht unterschieden werden, und das Strahlenbündel wird also eben oder kegelförmig erscheinen, je nachdem in der ersten oder zweiten Stellung der Augen die Netzhauthorizonte mit der Visirebene zusammenfallen.

Dabei ist noch zu bemerken, daß diejenigen Kanten des Kegels, welche den Blicklinien sehr nahe kommen und also gegen die Augen des Beobachters selbst hingerichtet erscheinen müßten, ein zu kühnes und unwahrscheinliches Relief geben und deshalb besser vermieden werden. Außerdem ist zu bemerken, daß diejenigen Kanten der Kegelfläche, die zwischen den Augen durchgehen, in den Bildern beider Netzhäute gerade entgegengesetzte Richtung bekommen, und deshalb von ihnen abzusehen ist.

Um die scheinbare Lage von Kreisen zu berechnen, deren Mittelpunkt fixirt wird und deren Ebene senkrecht zur Halbirungslinie des Convergenzwinkels ist, 677 benutzen wir den Satz, daß, wenn die Gleichung einer Ebene in der Normalform gegeben ist,

$$U = ax + by + cz + d$$

und

$$a^2 + b^2 + c^2 = 1$$

der Ausdruck U den Abstand des Punktes (x, y, z) von der Ebene $U = 0$ bezeichnet, wobei d den Abstand des Mittelpunkts der Coordinaten von derselben Ebene anzeigt.

Bringen wir die Gleichung 1 b) auf die Form

$$x \sin \gamma \sin \alpha - y \cos \gamma \sin \alpha + z \cos \alpha = U \quad . \quad . \quad . \quad 3),$$

nehmen wir dazu eine zweite Ebene, die auch durch die Blicklinie geht, in der aber der Winkel α um einen Rechten gewachsen ist und die deshalb auf 3) senkrecht steht,

$$x \sin \gamma \cos \alpha - y \cos \gamma \cos \alpha - z \sin \alpha = V \quad . \quad . \quad . \quad 3a),$$

und endlich eine dritte Ebene, die auf der Blicklinie senkrecht steht,

$$x \cos \gamma + y \sin \gamma - r = W \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3b),$$

so sind U, V, W rechtwinkelige Coordinaten des Punktes (x, y, z) bezogen auf das System dieser drei Ebenen und

$$\frac{1}{m^2} U^2 + \frac{1}{n^2} V^2 = W^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 3c)$$

ist die Gleichung eines Kegels zweiten Grades, der seine Spitze im Mittelpunkte des rechten Auges hat und dessen drei Hauptaxen in den Schnittlinien der Ebenen

$$U = 0, \quad V = 0, \quad W = 0$$

liegen.

Die Schnittlinie des Kegels 3 c) mit der Ebene, $x = 0$, ist gegeben durch die Gleichung

$$y^2 \cos^2 \gamma \left\{ \frac{\sin^2 \alpha}{m^2} + \frac{\cos^2 \alpha}{n^2} \right\} + z^2 \left\{ \frac{\cos^2 \alpha}{m^2} + \frac{\sin^2 \alpha}{n^2} \right\} + 2yz \cos \gamma \cos \alpha \sin \alpha \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right) = y^2 \sin^2 \gamma - 2ry \sin \gamma + r^2.$$

Wenn wir nun verlangen, daß bei derjenigen Raddrehung des Auges, wo $\alpha = 0$, diese Schnittlinie ein Kreis sei, muß sein

$$\frac{\cos^2 \gamma}{n^2} - \sin^2 \gamma = \frac{1}{m^2} \dots \dots \dots 3 d).$$

Für symmetrische Stellungen des andern Auges muß gleichzeitig γ und α negativ genommen werden. Setzen wir also

$$\begin{aligned} x \sin \gamma \sin \alpha + y \cos \gamma \sin \alpha + z \cos \alpha &= U' \\ - x \sin \gamma \cos \alpha - y \cos \gamma \cos \alpha + z \sin \alpha &= V' \\ x \cos \gamma \quad - y \sin \gamma \quad - r &= W' \end{aligned}$$

so ist

678

$$\frac{1}{m^2} U'^2 + \frac{1}{n^2} V'^2 = W'^2 \dots \dots \dots 3 e)$$

die Gleichung eines entsprechenden Kegels, dessen Axe die Blicklinie des zweiten Auges ist, dessen Spitze im Mittelpunkte dieses Auges liegt, und der, wenn $\alpha = 0$ gemacht wird, die Ebene $x = 0$ und die ihr parallelen Ebenen ebenfalls in einem Kreise schneidet, wie der Kegel 3 c).

Ist nun die Stellung der Augen $\alpha = 0$ eine mit Raddrehung verbundene Stellung derselben, und die Schnittlinie der beiden Kegel ein objectiv vorhandener Kreis, so wird das Netzhautbild nach den oben gegebenen Regeln so gedeutet, als wären dieselben Netzhautbilder ohne Raddrehung erhalten worden. Das scheinbar vorhandene Object muß also eine Schnittlinie der Kegel 3 c) und 3 e) sein. Wenn wir deren Gleichungen von einander subtrahiren, so bleiben nur diejenigen Glieder stehen, welche in beiden verschiedenes Vorzeichen haben, diese sind:

$$\begin{aligned} - \frac{1}{m^2} y \cos \gamma \sin \alpha (x \sin \gamma \sin \alpha + z \cos \alpha) \\ - \frac{1}{n^2} y \cos \gamma \cos \alpha (x \sin \gamma \cos \alpha - z \sin \alpha) \\ = y \sin \gamma (x \cos \gamma - r). \end{aligned}$$

Diese Gleichung wird erfüllt, wenn entweder

$$y = 0$$

oder

$$x \sin \gamma \cos \gamma \left[\frac{\sin^2 \alpha}{m^2} + \frac{\cos^2 \alpha}{n^2} + 1 \right] + z \cos \gamma \cos \alpha \sin \alpha \left[\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right] = r \sin \gamma.$$

Die erste Schnittlinie läge also in der Medianebene, und wird sich nicht leicht als Object darstellen, die Ebene der zweiten wird mit Berücksichtigung der Gleichung 3 d)

$$x (1 - \sin^2 \alpha \sin^2 \gamma) - z \sin \gamma \sin \alpha \cos \alpha = \frac{r n^2}{(n^2 + 1) \cos \gamma} \dots 3f).$$

Für den Fall, daß $\alpha = 0$, wird diese Gleichung

$$x = \frac{r n^2}{(n^2 + 1) \cos \gamma} = x_0.$$

Die Schnittlinie der beiden Kegel liegt also in diesem Falle in der Entfernung x_0 vor der Ebene, $x = 0$, in einer dieser parallelen Ebene, und ist ein Kreis. Wenn α nicht gleich Null ist, ist die Ebene der Schnittlinie geneigt gegen die Ebene $x = 0$ um einen Winkel η , dessen Tangente ist

$$\text{tang } \eta = \frac{\sin \gamma \sin \alpha \cos \alpha}{1 - \sin^2 \gamma \sin^2 \alpha}$$

und sie schneidet die Visirebene $z = 0$ in der Linie

$$x = \frac{x_0}{1 - \sin^2 \alpha \sin^2 \gamma},$$

also etwas entfernter vom Auge, als vorher. Die Schnittlinie ist in diesem Falle eine Ellipse.

679 Die nahehin verticalen Axenebenen der beiden Kegel

$$V = 0 \text{ und } V' = 0$$

schneiden sich in der geraden Linie, deren Gleichungen sind

$$\left. \begin{aligned} x \sin \gamma &= y \text{ tang } \alpha \\ y &= 0 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 4),$$

für $\alpha = 0$ werden die Gleichungen dieser Linie

$$x = 0, \quad z = 0.$$

Eine zur Visirebene senkrechte Linie erscheint also bei der Raddrehung α beider Augen gegen die Ebene $x = 0$ geneigt unter dem Winkel η' , dessen Tangente ist

$$\text{tang } \eta' = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha \cdot \sin \gamma}.$$

Wenn nun die Winkel α und γ , wie dies bei den praktisch ausführbaren Versuchen immer der Fall sein wird, klein sind, so ist

$$\text{tang } \eta' > \text{tang } \eta.$$

Der senkrechte Durchmesser des Kreises erscheint also stärker gegen die Ebene $x = 0$ geneigt, als die Ebene des Kreises, und daher scheint er sich vom Kreise zu lösen, wie dies RECKLINGHAUSEN beobachtet hat. Da gerade die horizontal verlaufenden Theile der Kreislinie nur eine sehr unbestimmte binoculare Localisation geben, so kann der Kreis auch verbogen erscheinen, wo der Durchmesser ihn schneidet, ohne sich von ihm zu lösen.

Betrachtet man nicht einen Kreis, sondern Ellipsen, so findet die Gleichung 3 d) nicht statt, und man findet, daß Ellipsen mit längerer verticaler Axe sich im Sinne einer verticalen Linie neigen müssen, dieser desto näher kommend, je schmaler sie sind. Ellipsen dagegen mit längerer horizontaler Axe neigen sich entgegengesetzt, auch um so stärker, je schmaler sie sind.

Abänderung des Linsenstereoskops von HELMHOLTZ. Da die Entfernung entsprechender Punkte in den gewöhnlichen photographischen Stereoskopenbildern nicht immer gleich der der Augen ist, sie zuweilen auch verschiedene Höhe über der Grundlinie haben, so muß man, um eine möglichst natürliche Projection der Objecte zu erreichen, das Instrument jedem Bilde adaptiren können. In einem Stereoskop, was ich von OERTLING in Berlin erhalten hatte, war dies in einfachster Weise dadurch erreicht, daß zwei prismatische Linsen in zwei cylindrischen, drehbaren Röhren saßen. Je nachdem man den brechenden Winkel der Prismen mehr nach einwärts oder nach auswärts stellte, konnte man eine größere oder geringere Convergenz der Augen hervorbringen und auch Höhenunterschiede corrigiren. In anderer Weise, wobei die Einstellung leichter wird und die Unregelmäßigkeiten der Brechung in prismatischen Gläsern möglichst klein bleiben, habe ich denselben Zweck erreicht in dem in *Fig. 238* perspectivisch und in *Fig. 239* (S. 830) im Querschnitt in $\frac{2}{5}$ der natürlichen Größe dargestellten Instrumente. Der Zweck desselben ist namentlich auch stärkere Vergrößerungen anwenden zu können, als die gewöhnlichen Stereoskope geben, wobei man einen dem natürlichen noch mehr entsprechenden Eindruck erreicht. Doch ist zu bemerken, daß fast nur Photographien auf Glas eine solche stärkere Vergrößerung ertragen. Der Kasten ist ähnlich dem des Stereoskops von BREWSTER mit prismatischen Linsen eingerichtet; durch die Schlitze parallel der Bodenplatte *A A*, welche selbst größtentheils durch eine mattgeschliffene Glasplatte gebildet ist, wird das Bild eingeschoben. Der Beschauer blickt durch die beiden cylindrischen Röhren *B₀ B₁*, welche nur centrirte Convexlinsen, nicht Prismen¹,

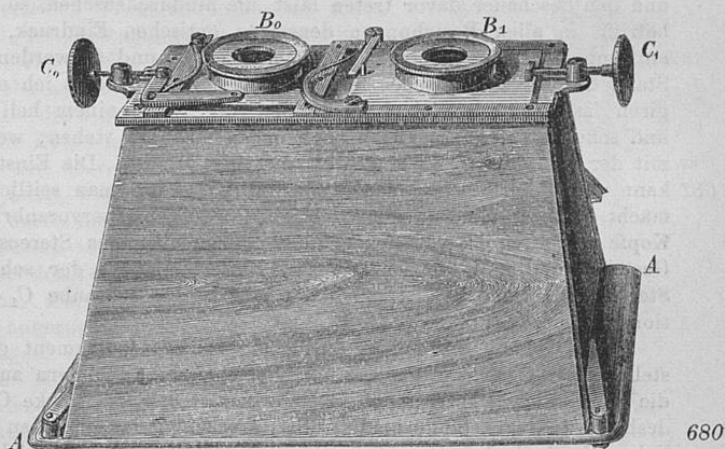


Fig. 238.

enthalten, darauf hin. Beide Röhren enthalten zunächst dem Auge eine Linse von 12 Centimeter Brennweite und gegen ihr unteres Ende hin eine solche von 18 Centimeter Brennweite. Die letztere kann ausgeschraubt werden, wenn man nur die gewöhn-

¹ Auch CLAUDET hat bemerkt (*Proc. Royal Soc. VIII, 104–110*), daß es richtiger ist und natürlichere Bilder giebt, wenn man Landschaftsbilder durch Linsen mit parallelen Gesichtslinien combinirt.

liche Vergrößerung der Stereoskope zu haben wünscht, bei welcher aber die Bilder (Landschaften) meist kleiner erscheinen als das wirkliche Object dem unbewaffneten Auge von dem betreffenden Standpunkte aus erscheinen würde. Jede der Röhren B_0 und B_1 sitzt in einem zwischen Schienen verschiebbaren rechtwinkligen Schlitten, sodafs B_0 in der Richtung

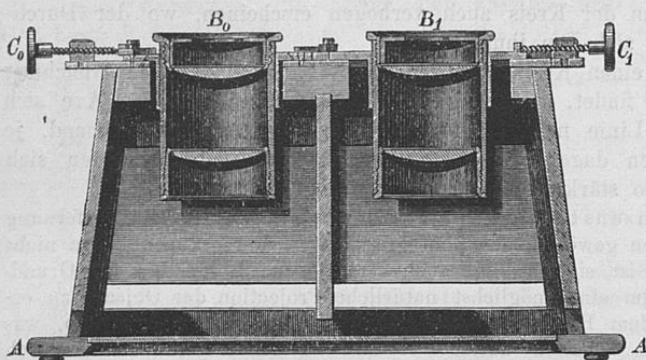


Fig. 239.

von oben nach unten (beziehlich zum Beobachter), B_1 dagegen von rechts nach links stellt werden kann durch Drehung der Schrauben C_0 und C_1 . In Fig. 238 ist dargestellt, wie die Schrauben auf die Schlitten wirken, C_1 unmittelbar, C_0 mittels eines Winkelhebels.

Ich pflege die Röhren erst so weit herauszuziehen, bis das photographische Bild im Brenn-

punkte der Concavlinse steht, was sich leicht erkennen läßt, wenn man von unten auf die matte Glasplatte blickt und das Bild entfernter heller Objecte auf der Fläche der stereoskopischen Darstellung auffängt. Ist der Beschauer kurzsichtig, so lasse ich ihn lieber durch die ihm gewöhnte Brille hineinsehen. Dadurch das man das Bild in den Brennpunkt der Linsen bringt, hat man den Vortheil, das es erstens auch bei Bewegungen des Kopfes vor den Gläsern wie ein unendlich entferntes Object erscheint; zweitens das die Deckung der Bilder auch nicht gestört wird, wenn der Beobachter den Kopf nach der Seite neigt. Namentlich also, wenn man das Stereoskop fest aufstellt und den Beschauer davor treten läßt, um hindurchzusehen, so erhält er, was die Formen betrifft, in allen Beziehungen denselben optischen Eindruck, als blickte er nach den entfernten reellen Objecten. Die Schrauben C_0 und C_1 werden dann gebraucht, um den Stand der beiden optischen Bilder zu corrigiren. Indem ich meine Augen etwas convergiren lasse, erzeuge ich Doppelbilder von irgend einem hell hervortretenden Objecte, und sehe zu, ob diese gleich hoch neben einander stehen; wenn nicht, so corrigire ich mit der Schraube C_0 so lange, bis dies der Fall ist. Die Einstellung in den Brennpunkt kann man dann noch genauer controlliren, wenn man seitliche Neigungen des Kopfes macht. Um annähernd die richtige Convergenz hervorzubringen, gehe ich mit dem Kopfe etwas zurück von den Gläsern, blicke über das Stereoskop fort nach wirklichen Gegenständen und vergleiche deren Entfernung mit der scheinbaren der Objecte im Stereoskop. Danach läßt sich dann mittels der Schraube C_1 leicht die nöthige Correction machen.

Die Objecte erscheinen durch ein solches Instrument gesehen bei richtiger Einstellung nicht nur viel größer und viel entfernter, sondern auch körperlicher als durch die gewöhnlichen Instrumente, welche fast immer zu starke Convergenz verlangen und deshalb die Gegenstände als Basreliefs erscheinen lassen. Man hat auch den sehr wesentlichen Vortheil, das man die sonst so leicht eintretende Ermüdung und Schmerzhaftigkeit der Augen hierbei gänzlich vermeiden kann.

Außer dem schon genannten Spiegelstereoskop von WHEATSTONE, dem Linsenstereoskop von BREWSTER in seinen verschiedenen Modificationen, dem Pseudoskop, welches auch gebraucht werden kann, um je zwei Zeichnungen mit einander zur Deckung zu bringen, können auch stereoskopische Wirkungen mit nur einer Zeichnung und einem Prisma erzeugt werden.¹ Wenn die Zeichnung nämlich einen zur Medianebene

¹ DOVE, *Poggend. Ann.* LXXXIII. 183. *Berliner Monatsberichte.* 1850, p. 152. BREWSTER *Phil. Mag.* (4) III, 16–26. *Rep. of Brit. Assoc.* 1849, 2, p. 5.

des Beschauers symmetrisch gebildeten Gegenstand darstellt, so wie er vom rechten Auge gesehen wird, so würde die entsprechende Ansicht des linken Auges ihr symmetrisch oder ihrem Spiegelbilde congruent sein. Statt der zweiten Zeichnung kann man also auch wirklich ein Spiegelbild der ersten setzen, indem man mit dem linken Auge durch ein rechtwinkeliges Glasprisma parallel dessen Hypotenusenfläche hindurchsieht, wobei, wie mehrfach schon erwähnt ist, der Beschauer ein in der Hypotenusenfläche durch totale Reflexion entworfenen Spiegelbild des Objectes sieht. Das rechte Auge blickt inzwischen direct nach der Zeichnung. Wenn man die Bilder beider Augen zum Decken bringt, sieht man das körperliche Relief. Nimmt man das Prisma vor das linke Auge, so sieht man das umgekehrte Relief. Man kann auf diese Weise oft Zeichnungen zu stereoskopischen Effecten benutzen, die gar nicht dazu bestimmt sind, wie zum Beispiel photographische Porträts, welche von vorn mit einer sehr kleinen Abweichung nach einer Seite hin aufgenommen worden sind.

Aehnliche stereoskopische Effecte erreichte DOVE¹, indem er nach einer passenden Zeichnung mit einem astronomischen und einem Galilei'schen Fernrohr von gleicher Vergrößerung hinsah. Ersteres kehrt die Zeichnung um, letzteres nicht. Man kann hierzu dieselben Zeichnungen brauchen, wie für das einfache Prismenstereoskop, nur muß die obere Hälfte des dargestellten Körpers auch mit der untern symmetrisch sein.

Das einfache Telestereoskop ohne Vergrößerung habe ich oben beschrieben; ich habe ein ähnliches Instrument mit zwei Fernröhren construiren lassen, mit welchem man entfernte Gegenstände in ihrer körperlichen Form stereoskopisch sehen kann. Der optische Theil des Instruments ist dargestellt in Fig. 240, bei der in der untern Hälfte, zwischen n_1 und h_1 h_1 ein Stück des Rohres ausgelassen ist, damit die Figur auf der Seite Platz findet. Man muß die Figur sich so ergänzt denken, daß in der unteren Hälfte die Entfernung zwischen n_1 und h_1 h_1 ebenso groß ist, wie in der oberen Hälfte die Entfernung zwischen n und h . Das Licht, was von den Objecten kommt, wird zunächst aufgefangen durch die beiden ebenen Spiegel aa und $a_1 a_1$. Diese Spiegel müssen aber von der größten Vollendung sein, weil sie sonst bei der Vergrößerung durch die Fernröhre verzerrte Bilder geben. Durch drei Schrauben werden sie gegen die Platte k und k' angezogen, während zwischen ihnen und der Platte Federn liegen, die sie so weit entfernen, als die Schrauben es zulassen. Mittels der Schrauben kann man die Stellung der Spiegel so weit abändern, daß die Bilder beider Seiten zusammenfallen. Die Objectivlinsen der Fernröhre liegen bei c und c' . Sie sind in Röhren eingesetzt, welche mittels der gezahnten Triebe i und i' , die in gezahnte Stangen h und h' eingreifen, hin und hergeschoben werden können, um die Focaldistanz des Fernrohrs reguliren zu können. Zwei Ocularlinsen eines terrestrischen Oculars liegen bei d und e . Dann fällt das Licht auf das Prisma b , um in den Seitenröhren auf die dritte und vierte Ocularlinse g zu fallen. Das Prisma b kann mittels der in den dahinter liegenden

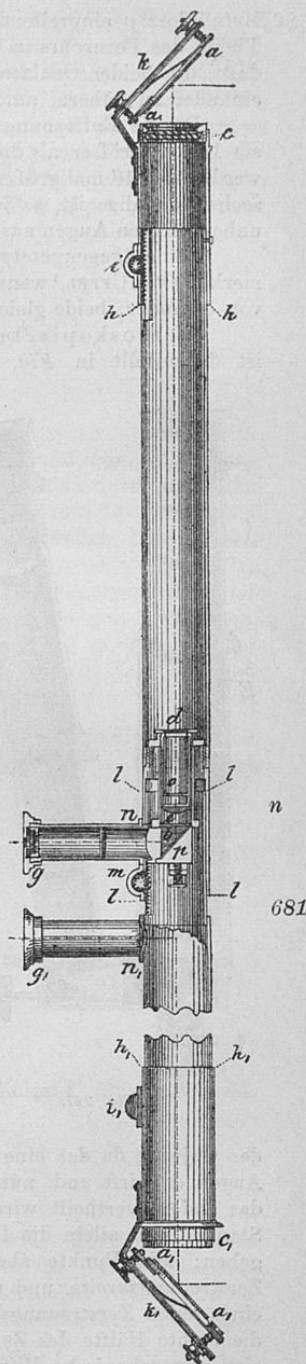


Fig. 240.

¹ DOVE, Poggend. Ann. LXXX. 446. Berliner Monatsberichte. 1850, p. 152.

682 Metallklotz *p* eingreifenden Schraube verschoben werden, um die optische Axe der beiden Theile des Fernrohrs in Uebereinstimmung zu setzen. Endlich dient der gezahnte Trieb *m* dazu, die beiden Ocularröhren mit den ganzen Fernröhren von einander zu entfernen oder einander zu nähern, um sie der Augendistanz des Beobachters anzupassen.

Da die Entfernung der Spiegel an dem Instrumente 1080 Millimeter beträgt, so ist sie 16 mal größer als die der menschlichen Augen, und die stereoskopischen Unterschiede werden also 16 mal größer, als für die unbewaffneten Augen. Da die Vergrößerung auch eine sechszehnmalige ist, so ist die Wirkung des Instruments die, als sähe man das Object mit unbewaffneten Augen aus einer sechszehnmal kleineren Entfernung, als man es wirklich sieht.

Den entgegengesetzten Effect von dem telestereoskopischen erhält man nach einer Bemerkung von OPPEL,¹ wenn man zwei einander congruente Körper in der Entfernung der Augen von einander, beide gleich gerichtet, aufstellt und mit parallelen Gesichtslinien betrachtet.

Stereoskopisches Mikroskop. Ein solches nach NACHET's Construction ist dargestellt in Fig. 241. Bei *a* ist das Objectivlinsensystem. Das durchtretende

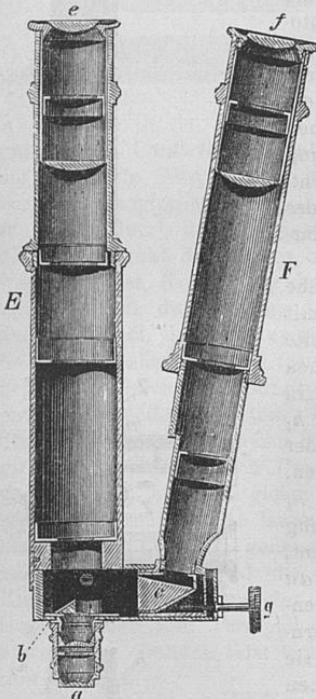


Fig. 241.

Strahlenbündel trifft zunächst auf das kleine reflectirende Glasprisma bei *b*, die eine Hälfte des Strahlenbündels geht an diesem vorbei und durch das Rohr *E* zum Ocular *e*, um in das eine Auge des Beobachters zu fallen. Die andere Hälfte des Strahlenbündels dagegen, welche in das beinahe rechtwinkelige Prisma *b* eintritt, wird von dessen Hypotenusenfläche reflectirt und gegen das zweite Prisma *c* hin geworfen, um hier noch einmal reflectirt zu werden in das Rohr *F* hinein und zum Ocular *f*, durch welches es in das andere Auge des Beobachters fällt. Mittels der Schraube *g* kann das ganze Rohr *F* mit dem Prisma *c* dem Rohre *E* genähert oder von ihm entfernt werden, um das Instrument dem Abstände der beiden Augen des jedesmaligen Beobachters anzupassen. Da die Lichtbündel, welche aus den Ocularen *e* und *f* austreten, sehr schmal sind, so muß ihre Entfernung der der Pupillen genau gleich sein, damit beide Augen ein Bild empfangen. In den englischen Instrumenten ähnlicher Art sind beide Röhren fest verbunden, und die Accommodation für die Augendistanz des Beobachters wird dadurch erreicht, daß man die Ocularstücke der Röhren mehr oder weniger herauszieht.

Die stereoskopische Wirkung bei diesen Instrumenten ist sehr auffallend und erleichtert die Beobachtung von Objecten verwickelterer Form außerordentlich. Sie kommt vermittels ganz anderer Umstände zu Stande als in den übrigen stereoskopischen Instrumenten. Wir haben in diesem Falle nämlich keine von zwei verschiedenen Standpunkten aus aufgenommenen Bilder

des Objects, da das eine Objectivlinsensystem des Mikroskops die beiden Bilder für beide Augen entwirft und nur die eine Hälfte des Lichts an das eine Auge, die andere an das andere vertheilt wird. Eine stereoskopische Wirkung kommt hier nur deshalb zu Stande, weil allein die Punkte der Focalebene des Mikroskops ein punktförmiges Bild geben; alle Punkte aber, die vor oder hinter der Focalebene liegen, geben kleine Zerstreungskreise, und wegen der Halbierung des Strahlenbündels fällt die eine Hälfte eines jeden Zerstreungskreises in das rechte, die andere in das linke Auge. Da nun die rechte Hälfte des Zerstreungskreises anders liegt als die linke, so kommt dadurch eine stereoskopische Wirkung zu Stande.

¹ OPPEL, Jahresbericht des Frankfurter Vereins 1858—59, p. 64—75.

Nach den auf Seite 77 bis 80 gegebenen Regeln können die Hauptpunkte und Brennpunkte des ganzen optischen Systems eines Mikroskops leicht gefunden werden. Der erste Hauptpunkt liegt unterhalb des Objectivglases, der erste Brennpunkt ebenfalls, aber dem Objectiv näher. Der zweite Haupt- und Brennpunkt liegen oberhalb des Oculars, und zwar wieder der Brennpunkt diesem näher. Das Auge des Beobachters können wir uns im zweiten Brennpunkte befindlich denken und p die Brennweite des ganzen Systems nennen. Sind nun f und φ die Entfernungen beziehlich des Objects vom ersten Brennpunkte nach oben und des Bildes vom zweiten Brennpunkte nach unten, so ist nach S. 70 Gleichung 7 b)

$$\varphi = \frac{p^2}{f}.$$

Bezeichnet b die Gröfse des Objects, β die seines Bildes, so ist

$$\frac{\beta}{b} = \frac{p - \varphi}{f - p} = \frac{p}{f} = \frac{\varphi}{p}.$$

Denken wir uns nun das Auge accommodirt für das Bild β , und vor oder hinter dem Gegenstande b noch ein anderes Object b' , welches, da jenes erste durchsichtig ist, mit ihm zugleich gesehen werden kann, und dessen Entfernung vom Brennpunkte f' sein mag, so ist die Entfernung seines Bildes vom Auge und vom zweiten Brennpunkte

$$\varphi' = \frac{p^2}{f'},$$

woraus folgt

$$\varphi' - \varphi = p^2 \cdot \frac{f - f'}{f \cdot f'}.$$

Der Winkel, unter dem die Strahlen vom Bilde b aus in das Objectivglas fallen, sei a , der zugehörige Divergenzwinkel der Strahlen des Bildes β sei α , so ist nach Seite 71, Gleichung 7 d) und Seite 75, Gleichung 9)

$$b \operatorname{tang} a = \beta \operatorname{tang} \alpha$$

oder

$$\operatorname{tang} \alpha = \frac{f}{p} \operatorname{tang} a$$

und ebenso für die Bilder b' und β' nebst den zugehörigen Divergenzen der Strahlen a und α' ist

$$\operatorname{tang} \alpha' = \frac{f'}{p} \operatorname{tang} a'.$$

Der Radius ϱ des Zerstreungskreises in der Ebene des Bildes β , für welche das Auge accommodirt ist, ist, wie leicht ersichtlich,

$$\varrho = (\varphi' - \varphi) \operatorname{tang} \alpha' = \frac{p}{f} (f - f') \operatorname{tang} a'.$$

Da nur Gegenstände beobachtet werden können, für welche der Zerstreungskreis sehr klein ist, also $\varphi' - \varphi$ und $f' - f$ sehr klein sind, so kann die Veränderlichkeit des Winkels α' für verschiedene sichtbare Objecte und sein Unterschied vom Winkel α vernachlässigt werden, und wir können deshalb unter dieser Beschränkung die letzte Gleichung schreiben

$$\varrho = \frac{p \operatorname{tang} a}{f} \cdot (f - f').$$

684 Nun fällt von diesem Zerstreungskreise bei der beschriebenen Einrichtung des stereoskopischen Mikroskopes die eine Hälfte in das rechte, die andere in das linke Auge. Dadurch wird jede zur Visirebene verticale Linie des Bildes, sei sie nun isolirt gezogen oder Theil einer gleichmäßig gefärbten Fläche, verwandelt in einen Streifen von der Breite ρ , so dafs die Verbreiterung in dem einen Bilde nach rechts hin, im anderen nach links hin geschieht. Zwei solche Streifen haben also in den beiden Bildern eine stereoskopische Parallaxe gleich ρ im Vergleich mit den Punkten der Focalebene.

Ist f' kleiner als f , liegt also das Object weiter vom Objectivglase als diejenigen Punkte, für deren Bild das Auge accommodirt ist, so ist φ' gröfser als φ , das heifst das Bild von b' liegt unterhalb des Bildes von b , und in der Ebene von b sind die Strahlen des Bildes b' schon gekreuzt. Dann fällt die rechte Hälfte des Zerstreungskreises in das rechte Auge des Beobachters, die linke in das linke Auge, die stereoskopische Parallaxe ist also negativ, verglichen mit der des Bildes b , und b' scheint, wie es wirklich liegt, hinter b zu liegen. Dabei gelangt die eine Hälfte des Zerstreungskreises durch doppelte Spiegelung in das entsprechende Auge des Beobachters und erscheint deshalb nicht von rechts nach links verkehrt, sondern in natürlicher Lage.

Umgekehrt verhält sich alles, wenn das Object b' oberhalb b liegt.

In den Instrumenten von NACHET kann man den Schieber, der die Prismen enthält, so weit hervorziehen, dafs das kleine Glasprisma b der Fig. 240 vor die andere (rechte) Hälfte der Oeffnung tritt, dann erhält man einen pseudoskopischen Effect; was in Wirklichkeit unten liegt, erscheint dann oben.

Aehnlich wirkt der binoculare Augenspiegel, welcher in Fig. 242 nach NACHET'S Construction abgebildet ist. A ist ein Concavspiegel von Glas, von dessen

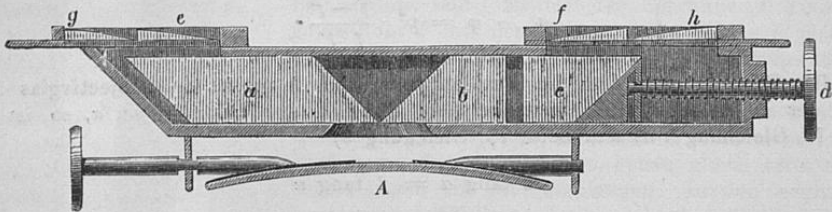


Fig. 242.

Mitte die Belegung weggenommen ist. Die vordere und hintere Fläche des Glases haben gleiche Krümmung, so dafs es die Strahlen ungebrochen durchgehen läfst. Der Spiegel dient zur Beleuchtung des zu beobachtenden Auges. Zwischen ihn und das Auge wird eine Convexlinse gehalten, deren reelles umgekehrtes Bild der Beobachter betrachtet, wie in dem auf Seite 218 Fig. 110 schematisch dargestellten Versuche. Das Licht, welches vom beobachteten Auge kommt, theilt sich hinter der Oeffnung, indem es auf die beiden reflectirenden Prismen a und b fällt. Das Prisma a hat einen parallelogrammatischen Querschnitt; zwei seiner Winkel sind gleich halben Rechten. Die Prismen b und c zusammengenommen bilden ein Prisma von derselben Gestalt, wie a , welches aber quer durchschnitten ist, damit man den Theil c mittels der Schraube d dem andern Theil b nähern und davon entfernen kann. Dadurch wird das Instrument der Augendistanz des Beobachters angepaßt. Die Strahlen, welche durch die mittlere Oeffnung zuerst rechtwinkelig in die vordere Fläche des Prisma a eingetreten sind, werden dann von der kleinen Seite des Parallelogramms gegen die zweite nach aufsen gekehrte kleine Seite reflectirt, und von dieser letztern zum zweiten Male reflectirt gegen die Oeffnung e hin, und treten durch diese aus in das eine Auge des Beobachters. Die zweite Hälfte der Strahlen, welche in das Prisma b eintreten, werden ebenso von dessen geneigter Fläche gegen die geneigte Fläche von c reflectirt, und von dieser gegen die Oeffnung h hin, um in das zweite Auge des Beobachters zu fallen. In die Oeffnungen e und h

sind schwach brechende Prismen eingesetzt, damit der Beobachter mit schwach convergenten Blicklinien das gemeinsame Bild betrachten kann. Die Prismen sitzen in je einem Schieberchen, welches ausserdem noch zwei andere Prismen mit convexen Flächen enthält, die, wenn sie vorgeschoben werden, zugleich vergrößernd wirken.

Die vortheilhafteste Stellung der Convexlinse, durch welche man beobachtet, ist, wenn sie ein Bild der Pupille des beobachteten Auges auf die Oeffnung des Spiegels wirft, wie auf Seite 218—221 erörtert ist. Unter diesen Umständen fällt das Licht, 685 was durch die rechte Hälfte der Pupille kommt, in das links gelegene Prisma *a*, und das von der linken Seite der Pupille kommende in das rechts gelegene Prisma *b*. Das rechte Auge des Beobachters sieht also den Hintergrund des beobachteten Auges, wie er von der linken Hälfte der Pupille aus erscheint, das linke Auge, wie er von ihrer rechten Hälfte aus erscheint. Da das Bild übrigens auch verkehrt ist, so giebt dies einen richtigen stereoskopischen Effect, der sehr merklich und für die medicinische Beobachtung des Augenhintergrundes sehr nützlich ist.

Schliesslich will ich hier noch die eigenthümliche Methode der Stereoskopie von ROLLMANN¹ erwähnen. Er zeichnet beide Projectionen auf dieselbe schwarze Tafel, die eine mit rothen Linien, die andere mit blauen. Dann nimmt er vor das eine Auge ein rothes Glas, vor das andere ein blaues und sieht nun mit jenem nur die rothen Linien, mit diesem nur die blauen, die sich dann zum Relief verbinden lassen. Wenn man blaue und rothe Gläser vertheilt, kann man eine solche Zeichnung vielen Personen zu gleicher Zeit zeigen. J. C. D'ALMEIDA entwirft die betreffenden Bilder mittels zweier Linsen, vor deren eine ein rothes, vor die andere ein grünes Glas eingeschaltet ist, auf einen Schirm.

Es können übrigens die verschiedenartigsten brechenden und spiegelnden Apparate gebraucht werden, um die für stereoskopische Zwecke gewünschte Verschiebung der Bilder hervorzubringen, wobei bald beide, bald nur ein Bild verschoben wird. Wie WHEATSTONE ursprünglich zwei Planspiegel benutzt hat, so hat BREWSTER² ein ähnliches mit zwei Spiegeln, ein anderes mit einem Spiegel, das letztere entweder mit einer oder zwei Zeichnungen beschrieben. Statt der Spiegel können auch, wie DOVE³ und BREWSTER vorgeschlagen haben, total reflectirende Prismen, eines oder zwei, im letzteren Falle wieder je eines vor ein Auge, oder beide zum Reversionsprisma verbunden, vor ein Auge gestellt, gebraucht werden. Ebenso genügt ein schwach brechendes Prisma mit ebenen Flächen, um eines der Bilder bis zur Deckung mit dem andern zu verschieben. E. WILDE⁴ brauchte zu demselben Zweck das doppelt reflectirende Prisma einer *Camera lucida*.

Um ohne Ablenkung der Lichtstrahlen die Combination stereoskopischer Bilder zu erzielen, schlägt BREWSTER vor, vor sie eine Glasplatte mit einem schwarzen Fleckchen, welches man fixirt, in passender Entfernung zu halten. FAYE⁵ wendet einen Schirm mit zwei Löchern an, so dafs jedes Auge nur die zugehörige Zeichnung sieht, ELLIOT⁶ zwei gekreuzte Röhren, durch die das rechte Auge das linke Bild sieht und umgekehrt. Zu bemerken ist, dafs wegen der Schwierigkeit die passende Accommodation herzustellen weitsichtige Beobachter leichter bei gekreuzten Gesichtslinien, kurzsichtige bei ungekreuzten combiniren.

J. DUBOSCQ⁷ hat prismatische Linsen in ein Opernguckerstativ gesetzt und dadurch die an der Wand hängende Doppelzeichnung betrachtet, so dafs man durch Näherung und Entfernung die Convergenz der Augenaxen verändern kann, wodurch das Relief vergrößert oder verkleinert wird. — Um beliebig grofse Bilder zu combiniren, stellt er

¹ ROLLMANN, *Poggend. Ann.* XC, 186—187.

² BREWSTER, *Phil. Magaz.* (4) III, 16—26.

³ DOVE, *Poggend. Ann.* LXXXVIII, 183.

⁴ E. WILDE, *Poggend. Ann.* LXXXV, 63—67.

⁵ FAYE, *Comptes rendus.* XLIII, 673—674. *Poggend. Ann.* XCIX, 641—642.

⁶ ELLIOT, *Phil. Mag.* (4) XIII, 78.

⁷ J. DUBOSCQ, *Cosmos.* I, 97—104; 703—705.

in seinem Panoramenstereoskop die Bilder über einander und zwei, um eine horizontale Axe drehbaren, neben einander stehenden Spiegeln gegenüber. Der Beobachter blickt zwischen den Bildern oder unter ihnen hindurch nach den Spiegeln, die so gestellt sind, daß die entsprechenden Theile der Bilder sich decken. Die Bilder können beliebig breit gemacht werden und vor den Augen des Beobachters vorbeigleiten. Eine andere Form zur Combination großer Bilder, die dem Stereoskop von BREWSTER ähnlicher ist, mit achromatischen ebenflächigen Prismen und davon getrennten Linsen, beide verschiebbar, um Correctionen des Bildes auszuführen, hat DUBOSCQ später beschrieben.¹

686

In das Panoramenstereoskop können statt der Bilder nun auch rotirende stroboskopische Scheiben eingesetzt werden, so daß man die bewegten Figuren auch körperlich sieht. Diese Einrichtung giebt das Stereophantaskop oder Bioskop. Ein Instrument, was dasselbe Resultat giebt, hat CZERMAK² unter dem Namen Stereophoroskop beschrieben. Er wählte dazu das gewöhnliche Linsenstereoskop, für welches beide Bilder auf einen und denselben Pappstreifen neben einander geklebt werden. Diese Pappstreifen mit ihren je zwei Bildern wurden an den Seitenflächen eines mehrseitigen um eine horizontale Axe drehbaren Prisma befestigt. Um das Prisma herum in der Entfernung von einigen Zollen von den Bildern läuft noch ein Gürtel von Pappdeckelstücken, in welche die nöthigen Oeffnungen eingeschnitten sind, um in den richtigen Momenten die Zeichnungen zu sehen. Außerhalb dieses Gürtels wird die Prismencombination eines BREWSTER'schen Stereoskops festgestellt, so daß der Beobachter durch sie und durch die vorbeisirenden Spalten nach den Bildern hinsehen kann.

C. CLARKE³ hat das BREWSTER'sche Stereoskop mit einem Fusse versehen, KILBARN⁴ es zum Zusammenlegen eingerichtet. SMITH und BECK⁵ haben einen Fuß, eine festere Bahn für die Bilder, reichlichere Beleuchtung von allen Seiten, achromatische Linsen angebracht, SAMUEL⁶ eine Vorrichtung, um die Entfernung der Bilder von den Linsen der Sehweite des Beobachters anzupassen.

Eigenthümlich ist die Einrichtung von CLAUDET's Stereomonoskop.⁷ Er bemerkte, daß die Bilder einer *Camera obscura*, auf einer mattgeschliffenen Glasplatte entworfen und binocular betrachtet, etwas stereoskopisches Relief zeigen. Die Erscheinung erklärt sich dadurch, daß jedes Auge auf der matten Glasplatte diejenigen Strahlen am stärksten sieht, welche in Richtung seiner eigenen Gesichtslinie auffallen. Er construirte darauf das Stereomonoskop, welches mittels zweier Linsen zwei zusammengehörige stereoskopische Bilder auf dieselbe Stelle einer matten Glasfläche entwirft. Wenn die Glasplatte binocular betrachtet wird, sieht jedes Auge nur das für dasselbe bestimmte Bild, und es entsteht der Eindruck des Reliefs.

Um Veränderungen in der Stellung der Bilder für Untersuchungen über den optischen Effect solcher Verschiebungen vornehmen zu können, hat WHEATSTONE⁸ an seinem oben beschriebenen Spiegelstereoskope die parallelen Wände, an denen die Bilder aufgestellt sind, auf Schlitten verschiebbar gemacht; außerdem sind die beiden Arme des Stereoskops drehbar um eine feste Axe zwischen den beiden Spiegeln, so daß man den Convergenzwinkel der Augen verändern kann. HARDIE⁹ hat zu ähnlichem Zwecke, um pseudoskopische Reliefs hervorzubringen, ein dem später von mir construirten und oben beschriebenen Telestereoskope ähnliches Instrument mit zwei Spiegelpaaren construirte. Man kann damit die Bilder bald verkehrt, bald in ihrer wahren Lage zeigen,

¹ DUBOSCQ, *Comptes rendus*. XLIV, 148—150.

² CZERMAK, *Wiener Ber.* XV, S. 463—466. Ein anderes ähnliches Instrument Stereotrope von SHAW in *Proc. Royal Soc.* XI, 70—73.

³ C. CLARKE, *Cosmos*. III, 123.

⁴ KILBARN, *Cosmos*. III, 770.

⁵ SMITH und BECK, *Athenaeum*. 1858, II, 269—270. *London J. of Arts*. Juni 1860.

⁶ SAMUEL, *Rep. of Brit. Assos.* 1858, 2, p. 19.

⁷ CLAUDET, *Proc. Royal Soc.* IX, 194—196.

⁸ WHEATSTONE, *Phil. Transact.* 1852, p. 1—17.

⁹ HARDIE, *Phil. Magaz.* (4) V, 442—446.

das Relief übertreiben, schwächen oder umkehren. H. MEYER¹ hat zu demselben Zwecke die Bilder des WHEATSTONESCHEN Spiegelstereoskops nach ihrer Fläche verschiebbar gemacht, und eine Scale zur Messung der Verschiebungen hinzugefügt. Doch hat die von WHEATSTONE vorgeschlagene Einrichtung, wo sich die Bilder im Kreise bewegen und ihr Abstand von den Augen ganz unverändert gelassen werden kann, wohl den Vortheil, daß sie bei Seitenverschiebungen der Bilder die Netzhautbilder derselben ganz unverändert läßt, während bei MEYER'S Einrichtung kleine Correctionen wegen der Veränderlichkeit des Abstandes der Bilder von den Augen bei Verschiebungen längs einer ebenen Fläche berechnet werden müssen.

Aehnliche Veränderungen² der Convergence bei der Betrachtung wirklicher Körper hat ROLLET erreicht, indem er vor jedes Auge schräg gerichtet eine planparallele dicke 687 Glasplatte stellte. Je nachdem deren vordere Flächen der Nasenseite oder der Schläfenseite des betreffenden Auges zugekehrt sind, machen sie die Blicklinien divergenter oder convergenter. Die Erscheinungen waren dabei den Erfahrungen von WHEATSTONE entsprechend.

Stereoskopenbilder sind theils durch perspectivische Construction der betreffenden Zeichnungen verfertigt und durch Lithographie oder Kupferstich vervielfältigt worden,³ theils durch Photographie. Unter den ersteren sind nur die nicht schattirten Linienzeichnungen geometrischer Gestalten, regelmäßiger Körper oder Krystallmodelle von guter Wirkung. Sie sind gleichzeitig die evidentesten Beispiele der stereoskopischen Wirkungen, da hier alle Mittel der Beleuchtung und Schattirung fehlen, welche die Täuschung unterstützen könnten. Zu ihrer Construction gehört aber eine außerordentliche Genauigkeit, wenn sie nicht verzerrt aussehen sollen, da schon die allerkleinsten Abweichungen sehr merkliche Veränderungen des Reliefs nach sich ziehen können. Es können ganz außerordentlich verwickelte geometrische Gestalten durch dieses Mittel zu einer klaren körperlichen Anschauung gebracht werden. Da übrigens dergleichen Zeichnungen überall käuflich zu haben sind, so gebe ich hier keine Beispiele derselben. Die bisherigen Versuche, dergleichen lithographirte Figuren auch zu schattiren, sind ziemlich mißlungen, weil die Abstufungen des Schattens in den beiden entsprechenden Figuren nicht gleichmäßig genug gemacht werden können. Der Hilfsapparat von ROOD zur Construction solcher Zeichnungen ist schon oben S. 814 erwähnt worden.

Weit vollkommener ist die Wirkung der stereoskopischen Photographien, die zuerst von MOSER in Königsberg gemacht wurden, deren Anfertigung schon einen ausgedehnten Industriezweig bildet und in denen wir Landschaften und Gebäude aller Theile der Erde, Statuen, Thiere, Blumen u. s. w.* dargestellt finden. Dieselben wurden anfangs meist so gemacht, daß man mit derselben *Camera obscura* nach einander Ansichten des Objects von zwei verschiedenen Punkten aufnahm. Das hatte aber den Nachtheil, daß bei heller Sonnenbeleuchtung die Schlagschatten während der Zeit zwischen der ersten und zweiten Aufnahme ihren Ort wechselten und dann einen falschen Effect in dem Bilde machten. Diese Schatten erscheinen dann mitunter wie körperliche in der Luft befindliche dunkle Schirme. Ich fand einen solchen Effect an einem Bilde von Paris, wo durch die Stellung des Zeigers an der Uhr eines Kirchthurms constatirt werden konnte, daß nur fünf Minuten zwischen der Aufnahme der beiden Bilder vergangen waren. Dazu kommt die Schwierigkeit der zwei zu präparirenden lichtempfindlichen Platten u. s. w. In neuerer Zeit werden deshalb nach D. BREWSTER'S⁴ Vorschlag vielfach Instrumente mit zwei Objectivgläsern benutzt, welche auf zwei verschiedenen Abschnitten derselben Platte gleich die beiden Bilder geben. Die Centra der beiden Objectivlinsen haben den Abstand der menschlichen Augen von einander, oder auch wohl einen etwas größeren, 70 bis 75 Millimeter, und die *Camera obscura* selbst bildet also gleichsam ein

¹ H. MEYER, *Poggendorff's Annalen*. LXXXV, 198—207.

² ROLLET, *Wiener Sitzungsber.* XLII, 488—502.

³ HESSEMER hat sehr gute der Art herausgegeben und die Regeln der Construction besprochen in *Dingler's polytechn. Journal*. LXXXIX, 111—121.

⁴ D. BREWSTER, *Phil. Mag.* (4) III, 26—30; 1852. *Rep. of Brit. Assoc.* 1849. 2, p. 5.

umgekehrtes Stereoskop. Diese Instrumente sind sehr zweckmäfsig zur Aufnahme naher Gegenstände und sie geben unmittelbar die Ansicht, wie sie ein am Orte des Instruments ruhig weilender Beobachter von dem Objecte gehabt haben würde. Sie haben namentlich den Vortheil, dafs man bei scharfer Sonnenbeleuchtung durch instantane Exposition der Platte gute Bilder von beweglichen Objecten, Menschen, Thieren, Schiffen, ja selbst prachtvolle Bilder der Wellen einer bewegten Wasseroberfläche erzielen kann. Aber sie genügen eigentlich nicht für Landschaften mit weit entfernten Objecten, weil die Distanz der Gesichtspunkte zu klein ist, um in diesen hinreichend grofse Unterschiede zu erhalten, und die ferneren Theile der Landschaft deshalb gewöhnlich ganz flach aussehen.¹ Für diese ist es besser, eine Art telestereoskopischer Wirkung zu erzielen, dadurch dafs man zwei Aufnahmen von zwei entfernten Punkten macht. So habe ich zum Beispiel unter den sehr vollendeten photographischen Landschaften von BRAUN in Dornach Abbildungen des Wetterhorn von je zwei verschiedenen Punkten von Grindelwald aus gefunden, zwei desselben Berges von zwei verschiedenen Punkten der Bachalp aus, ebenso der Jungfrau von Mürren aus, welche eine ausgezeichnete schöne Modellirung der Bergform geben, wenn man die ursprünglichen Bilderpaare aus einander schneidet und je zwei aus verschiedenen Paaren combinirt, die also gröfserer Distanz der Gesichtspunkte entsprechen, als wenn man die zusammengehörigen combinirt. Im letzteren Falle erkennt man die körperliche Form der Berge ebenso wenig, wie ein stillsitzender Beobachter; im ersteren erkennt man sie besser, ähnlich einem Beobachter, der hin- und hergeht und die nach einander entstehenden Ansichten des Berges vergleicht.

Stereoskopische Abbildungen mikroskopischer Gegenstände von sehr schöner Wirkung sind von BABO² angefertigt worden. Bei der Aufnahme wurde die Neigung des Objectisches gegen die Axe des Mikroskops für die beiden Bilder verschieden gemacht und so die stereoskopische Parallaxe gewonnen.

Bewegliche Bilder hat J. G. HALSKE verfertigt. Zuerst machte er in einem Doppelbilde, einen abgestumpften Kegel darstellend, die mittleren kleinen Kreise in einer horizontalen Linie verschiebbar. Am hübschesten war aber die Erscheinung zu sehen auf einer schwarzen horizontalen kreisförmigen Scheibe von etwa drei Zoll Durchmesser, die um ihre Axe sich sehr leicht drehte und, einmal angestossen, ziemlich lange in Bewegung blieb. Auf dieselbe wurde eine kleinere weifse Kreisscheibe (Oblate) gelegt und die Scheibe mit einem Auge durch ein passend befestigtes total reflectirendes rechtwinkeliges Prisma betrachtet, mit dem andern frei. Wenn sich der kleinere Kreis bei der Drehung rechts vom Mittelpunkt befand, sah ihn das freie Auge rechts, das durch das Prisma schauende Auge aber wegen der Spiegelung links vom Mittelpunkte, und so wurde die stereoskopische Parallaxe hergestellt. Der kleine Kreis schien durch die Fläche des grofsen hindurch wechselnd bald aufzusteigen, bald hinabzusinken.

Geschichtliches. Die älteren Ansichten über die Tiefenwahrnehmung schlossen sich zunächst an die Frage über die scheinbar verschiedene Gröfse des Mondes. PTOLEMAEUS (150 n. Chr.) sagt schon, dafs die Seele von der Gröfse der Gegenstände nach einer vorgefassten Schätzung ihrer Entfernung urtheilt; diese scheinbar gröfser, wenn viele Gegenstände zwischen dem Auge und der betrachteten Sache liegen, wie es der Fall ist, wenn die Himmelskörper nahe beim Horizont sind.³ An einer andern Stelle freilich schreibt er die Vergrößerung der Brechung der Strahlen durch die Dünste zu.⁴ ALHAZEN⁵ (im 10. Jahrh.) widerlegt die letztere Ansicht und kehrt zur ersteren zurück. Ihm

¹ Ueber die Wahl des Winkels CLAUDET im *Cosmos*, IV, 65–67, 1847. — SUTTON im *Cosmos*, IX, 313–319.

² BABO, *Bericht der Freiburg. Ges.* II, 312–314.

³ MONTUCLA, *Hist. des Mathém.* Vol. I, p. 309. — ROGERI BACONIS *Perspect.*, p. 118. — PRIESTLEY, *Geschichte der Optik*, übersetzt von KLÜGEL, p. 11–12. — GREGORY *Geometria. Pars univ.*, p. 141. — MALEBRANCHE, *Recherche de la vérité*. P. I. — HUYGENS in SMITH *Opticks*. Art. 586. — LOGAN in *Phil. Trans.* XXXIX, 404.

⁴ Almagest, L. III, c. 3. Auch STRABO, *Geogr.* I, 3.

⁵ ALHAZEN, L. VII, p. 53–54.

pflichtet ROGER BACO bei, während PORTA¹ es bestreitet. VITELLIO² (1270) schließt sich ALHAZEN an und macht auch darauf aufmerksam, daß überhaupt das Himmelsgewölbe am Horizont scheinbar entfernter sei, als im Zenith. KEPLER,³ dem sich CARTESIUS⁴ im Wesentlichen anschloß, sagt über die Beurtheilung der Entfernung schon, die Entfernung der beiden Augen sei die Grundlinie, deren man sich zur Messung der Entfernung der gesehenen Objecte bediene. Und weil ein Auge von beiden Augen diese Art zu messen lerne, so könne auch bei verhältnißmäßig kleinen Entfernungen die Breite des Sterns im Auge als Grundlinie dienen. Dann bemerkt er weiter, daß man auch mit einem Auge die verschiedenen Grade des Lichts zu schätzen und die Größe mit der Entfernung der Sache durch die Uebung zu vergleichen wisse, indem man durch die Erfahrung lerne, wie weit man die Hand darnach auszustrecken und dahin zu gehen habe. Er kannte also schon die Hauptmomente dieser Beurtheilung, abgesehen von der Verschiedenheit der Bilder.

GASSENDI⁵ konnte indessen in Bezug auf den Mond wieder behaupten, er erscheine größer in der Nähe des Horizonts, weil dann wegen des schwächeren Lichts die Pupille sich erweitere. HOBBS⁶ ging auf die Erklärungen der Alten zurück und bestimmte die scheinbare Gestalt des Himmelsgewölbes als ein Stück einer Kugelfläche. Pater GOUYE,⁷ MOLYNEUX⁸ und SAMUEL DUNN⁹ bemerkten dagegen, daß es nicht nöthig sei, Gegenstände zwischen dem Auge und dem Monde zu haben, und daß doch die Täuschung nicht (wenigstens nicht immer) aufhöre. DESAGULIERS¹⁰ arrangirte Versuche, wobei die Zuschauer zu falschen Schlüssen über die Entfernung inducirt wurden und demgemäß auch die Größe falsch beurtheilten. BERKELEY¹¹ hob das trübe Ansehen und die Lichtschwäche des Mondes am Horizonte hervor, Umstände, die jedenfalls einen sehr deutlichen Einfluss haben. Auch SMITH¹² untersuchte den Einfluss der scheinbaren Gestalt des Himmelsgewölbes; er stellte eine Reihe Schätzungen an über scheinbar gleiche Distanzen, die bald dem Zenith, bald dem Horizont näher gelegen waren, und fand, daß die Entfernung des Horizonts scheinbar drei bis vier Mal größer sei, als die des Zeniths. LAMBERT¹³ verglich den Querschnitt des Himmelsgewölbes mit einer Muschellinie. Auch die Gestalt und Breite des Regenbogens wird dadurch verändert, er erscheint flach elliptisch, seine Mitte schmäler als die Fußpunkte; ebenso werden Sonnenhöfe, Sterndistanzen scheinbar verändert. SMITH hat auch folgenden hübschen Versuch angegeben. Wenn man in den Brennpunkt einer Convexlinse eine kleine kreisrunde Oblate stellt, so erscheint deren Bild, durch die Linse gesehen, immer unter demselben Gesichtswinkel, wie weit auch der Beobachter sich entferne, so lange seine Ränder überhaupt noch durch die Linse sichtbar sind. Scheinbar wächst aber die Größe des Bildes außerordentlich, wenn sich der Beobachter entfernt, weil wir es nicht in unendlicher Entfernung, sondern noch hinter der Linse befindlich denken.

SMITH, der gegen BERKELEY's Einmischung der Luftperspective polemisirte, muß indessen doch zugeben, daß der Mond am Horizont bald größer, bald kleiner aussieht. Auch EULER¹⁴ schließt sich BERKELEY an.

Den Einfluss, den die scheinbare Entfernung auf die Schätzung der absoluten Größe

¹ PORTA, *De refractione*, p. 24, 128.

² VITELLIO, *Optica*, Editio RISNERI, p. 412. Basel 1572.

³ KEPLER, *Paralipomena*, p. 62—66. 1604.

⁴ CARTESIUS, *Dioptr.* p. 68. *De homine*, p. 66—71.

⁵ GASSENDI, *Opera*. Vol. II. p. 325.

⁶ ROBINS *tracts*. Vol. II, p. 241—244.

⁷ GOUYE, *Mém. de l'Acad. de Paris*. 1700, p. 11.

⁸ MOLYNEUX, *Philos. Transact.* Vol. I, p. 221.

⁹ SAMUEL DUNN, *Philos. Transact.* Vol. LII, p. 462.

¹⁰ DESAGULIERS, *Philos. Transact.* Vol. VIII, p. 130.

¹¹ BERKELEY, *Essay toward a new theory of vision*. Dublin 1709. p. 30. — ROBINS *mathemat. tracts*. II, 242.

¹² SMITH, *Optik*, deutsche Ausg. S. 418.

¹³ LAMBERT, *Beiträge*. I, § 60—78.

¹⁴ EULER, *Briefe an eine deutsche Prinzessin*. S. 317.

hat, hoben auch MALEBRANCHE und BOUGUER¹ gegen VARIGNON² hervor. Ueber die Mittel, die Entfernung zu beurtheilen, sprachen sich DE LA HIRE³ und PORTERFIELD⁴ ebenfalls den bisher erwähnten Ansichten entsprechend aus.

Umkehrung des Reliefs ist auch schon früh bemerkt worden und zwar zuerst bei der Betrachtung durch umkehrende Mikroskope oder Teleskope von JABLOT⁵ und G. P. GMELIN,⁶ und wurde von RITTENHOUSE⁷ auf verkehrte Beleuchtung geschoben. MUNCKE⁸ hob dagegen hervor, dafs sie auch bei der Betrachtung durch eine einfache Loupe eintreten kann. ABAT fügte die hübsche Beobachtung hinzu, dafs, wenn man eine mit Wasser halb gefüllte Glasflasche im umgekehrten Bilde eines Hohlspiegels betrachtet, der leere Theil gefüllt, der gefüllte leer erscheint, weil man die Flüssigkeit sich immer unterhalb der Grenzfläche denkt. Die neueren Ermittlungen und Ansichten über die Umkehrung des Reliefs sind oben schon angeführt worden.

Dafs die Bilder, welche beide Augen von einem körperlichen Gegenstande erhalten müßten, etwas verschieden seien, hatten EUKLID, GALEN, PORTA, AGULONIUS⁹ schon gewußt und Schwierigkeiten darin gefunden. LEONARDO DA VINCI¹⁰ hob schon hervor, dafs bei dem zweiäugigen Sehen von Körpern dadurch ein Unterschied gesetzt werde, der durch kein Gemälde nachgeahmt werden könnte. SMITH¹¹ blickte mit parallelen
690 Gesichtslinien nach den beiden Schenkeln eines Cirkels, die bis zur Augendistanz geöffnet waren, und bemerkte plötzlich, wie sich beide Schenkel zu einem vereinigten, der in weite Entfernung hinauszureichen schien. Es war dies eine stereoskopische Wahrnehmung. Aehnliche Wahrnehmungen an Linealen und Fäden sind von WELLS¹² gemacht worden.

Wie viel die Verschiedenheit der Bilder beider Augen zur Unterscheidung der Tiefendimensionen beiträgt, wurde aber erst durch WHEATSTONE's geistreiche Erfindung des Stereoskops nachgewiesen. Die erste Nachricht davon wurde 1833 veröffentlicht,¹³ die ausführliche Beschreibung der Erscheinungen und ihre Theorie 1838.¹⁴ Nach D. BREWSTER's Angaben¹⁵ hätte ein Mathematiker J. ELLIOTT in Edinburg es ebenfalls im Jahre 1834 erfunden und 1839 veröffentlicht. Ein Dritter, der die Erfindung in Anspruch nimmt, ist G. MAYNARD.¹⁶ WHEATSTONE kann jedenfalls den Vorrang der Priorität behaupten, und ist auch sein Aufsatz von 1838, der die Beschreibung des Spiegelstereoskops enthält, voll von einer reichen Menge von Versuchen und Beobachtungen, durch welche alle wesentlichen hierher gehörigen Verhältnisse deutlich dargelegt und erwiesen werden. Später wurde im Jahre 1859 von Dr. A. BROWN¹⁷ im Museum Wicar in Lille eine Doppelzeichnung von JACOPO CHIMENTI (geboren 1554, gestorben 1640) gefunden, einen Mann darstellend, der auf einem Schemel sitzt und in der einen Hand einen Cirkel, in der andern einen Lothfaden hält. Die beiden Zeichnungen, stereoskopisch vereinigt, geben eine Art von Relief. D. BREWSTER glaubte annehmen zu dürfen, dafs sie von CHIMENTI zur Prüfung der Theorie von PORTA, die 1593

¹ MALEBRANCHE und BOUGUER, *Mém. de l'Académie*. 1755. p. 99 u. 156.

² VARIGNON, *Ebenda*. 1717.

³ DE LA HIRE, *Mém. de Paris*. 1694.

⁴ PORTERFIELD, *Treatise on the eye*. 1769.

⁵ JABLOT, *Description de plusieurs nouveaux microscopes*. 1712.

⁶ G. P. GMELIN, *Philos. Transact.* 1747.

⁷ RITTENHOUSE, *Transact. of the American Philos. Society*. 1786. II.

⁸ MUNCKE, *Gehler's physik. Wörterbuch*, neu bearbeitet. Leipzig 1828. IV. 1455.

⁹ Siehe BREWSTER *the stereoscope, its history, theory and construction*. London 1856.

¹⁰ LEONARDO DA VINCI, *Trattato della pittura*.

¹¹ SMITH, *System of Optics*. II, 388 u. 526.

¹² WELLS, *Essay upon single vision with two eyes*. 1792. Zweite Aufl. 1818.

¹³ In H. MAYO *Outlines of human physiology*. p. 288.

¹⁴ C. WHEATSTONE, *Philosophical Transactions*. 1838. P. II, S. 371—394.

¹⁵ D. BREWSTER, *Liverpool and Manchester Photographic Journal*. 1857. January 1, p. 4—7. — January 15.

p. 21—23.

¹⁶ G. MAYNARD, *Toronto Royal Standard*. 1836. *Toronto Times*. 1857. October 8.

¹⁷ A. BROWN, *Photographic Journal*. 1860, May 15. — *Encyclop. Britann.* Artikel: *Stereoskope*.

veröffentlicht war, ausgeführt seien. Seitdem sind photographische Abbildungen dieser Zeichnungen in den Handel gekommen. Die beiden Bilder des Mannes sind in der That von verschiedenen Gesichtspunkten aus aufgenommen; ich muß indessen gestehen, daß ich es für unwahrscheinlich halte, daß der Zeichner sie für einen stereoskopischen Versuch bestimmt habe; denn gerade der Sessel, der Cirkel und der Faden, welche leicht richtig zu construiren gewesen wären, sind als Nebendinge behandelt und so unregelmäßig und verschiedenartig gezeichnet, daß sie sich nicht vereinigen lassen. Und hätte der Zeichner die Theorie prüfen wollen, so müßte man eher erwarten, daß die leicht zu zeichnenden Dinge richtig, die schwer zu zeichnenden, wie die Gestalt des Menschen, ungenau gemacht worden wären. Es scheint mir wahrscheinlicher, daß der Zeichner, mit der ersten Figur nicht ganz zufrieden, sie noch einmal von einem etwas anderen Standpunkte aus gezeichnet und zwar zufällig auf dasselbe Blatt.

Die jetzt gewöhnliche Form des Linsenstereoskops wurde von D. BREWSTER 1843 veröffentlicht. Die Uebersicht der weiteren Erfindungen gibt die weiter unten folgende Uebersicht der Literatur; die Geschichte der Theorie dieser Erscheinungen wird bei den nächsten Paragraphen folgen. Die Untersuchungen über die Fehler der reinen binocularen Localisation sind von RECKLINGHAUSEN,¹ E. HERING,² J. TOWNE und mir selbst³ in Angriff genommen worden, bedürfen aber noch vielfach erneuerter Wiederholung und Erweiterung von andern Beobachtern.

§ 31. Das binoculare Doppeltsehen.

Wir haben bisher die Erscheinungen des zweiäugigen Sehens betrachtet, 695 insofern sie sinnliche Zeichen für eine bestimmte Lage der gesehenen Raumobjecte sind. Es bleibt noch übrig, die subjectiven Erscheinungen, die sich hierbei zeigen, zu untersuchen.

Ich habe oben auseinandergesetzt, wie im monocularen Sehen neben der Anschauung der wirklichen Vertheilung der Objecte nach den drei Dimensionen des Raumes sich, wenn man auf die Art, wie sie gesehen werden, achtet, die Anschauung ihrer Vertheilung in dem flächenhaften Gesichtsfelde ausbildet. Wenn nun mit zwei Augen gesehen wird, so erscheinen die Gegenstände in dem Sehfelde jedes Auges, aber da die Bilder in beiden Sehfeldern, wie wir schon gesehen haben, im Allgemeinen nicht gleich sind, so können sie sich im gemeinschaftlichen Gesichtsfelde auch nicht absolut decken, sondern es bleiben gewisse Ungleichheiten beider Sehfelder bestehen und werden wahrgenommen. In diesem Kapitel sollen die Erscheinungen betrachtet werden, welche von der Ungleichheit der räumlichen Verhältnisse der Bilder beider Sehfelder herrühren, im nächsten die, welche von der ungleichen Beleuchtung oder Färbung der Sehfelder oder ihrer Theile verursacht werden.

Es ist wohl zu beachten, daß diese Betrachtungsweise des Gesichtsfeldes als solchen, nicht die natürliche und zuerst erworbene Art des Wahrnehmens ist, sondern vielmehr stets erst durch bewusste Reflexion auf die Beschaffenheit unserer Gesichtseindrücke veranlaßt wird. Wir betrachten dann nicht mehr die Welt der Objecte an sich, wie sie ist, sondern wir beobachten, wie sie uns von unserem dermaligen Standpunkte aus erscheint.

¹ RECKLINGHAUSEN, *Netzhautfunctionen im Archiv für Ophthalmologie*. V. 147—173.

² E. HERING, *Beiträge zur Physiologie*. Leipzig 1864. 4. und 5. Heft.

³ H. HELMHOLTZ, *Archiv für Ophthalmologie*. X, 1, S. 27—40.

Es ist dann wesentlich die Erscheinung, die uns interessirt, entweder weil wir sie als Zeichner nachbilden, oder als Physiologen theoretisch untersuchen wollen.

So wie wir nun im zweiäugigen Sehen anfangen das Gesichtsfeld als solches zu untersuchen, bemerken wir, daß die Ordnung der Objecte in den beiden Sehfeldern nicht übereinstimmt. Indem wir zum Beispiel durch das Fenster nach den Bäumen draussen sehen, sind wir im Stande, das Laubwerk mit dem linken Auge noch etwas weiter nach rechts hin zu verfolgen, als mit dem rechten. Wir sehen mit jenem Auge am rechten Rande des Fensters noch Theile des Laubwerks, die wir mit dem rechten nicht sehen können, welche für das rechte durch den Rahmen des Fensters verdeckt sind. Wir sehen also den Rahmen des Fensters in den beiden Gesichtsfeldern an zwei verschiedene Theile der Laubmasse angrenzen.

Ebenso verdeckt das Fensterkreuz dem rechten Auge einen andern Theil der Laubwand, als dem linken. Indem wir also der Laubwand mit dem Blicke folgen, tritt uns zwei Mal das Fensterkreuz an zwei verschiedenen Stellen entgegen, die Laubwand, wenn auch unvollständig verdeckend. Das Fensterkreuz erscheint also in zwei Stellen des Gesichtsfeldes, es erscheint doppelt.

Wenn man dagegen den Blick auf das Fensterkreuz oder die Glas-scheiben richtet und ihn entlang wandern läßt über die kleinen Flecken der einen Scheibe, dann über den mittleren verticalen Balken des Kreuzes, dann über die andere Scheibe, so kann es kommen, daß ein Baumstamm, der im Gesichtsfelde des rechten Auges rechts neben und hinter dem verticalen Holze erscheint, für das linke Auge links daneben liegt. Also wird auch das fernere Object in der durchlaufenen Reihenfolge der betrachteten Punkte zwei Mal vorkommen und doppelt erscheinen.

Wir haben in § 28 gesehen, daß wir die Reihenfolge der Punkte im Gesichtsfelde nicht bloß durch wirkliche Bewegung bestimmen können, sondern sie auch lernen nach der Reihenfolge ihrer neben einander liegenden Netzhautbilder im Auge zu beurtheilen. Wir brauchen also auch nicht den Blick wirklich über das Gesichtsfeld hingehen zu lassen, um die Doppelbilder zu sehen, sondern können dauernd einen Punkt fixiren und doch die verschiedene Anordnung der Objecte in beiden Sehfeldern erkennen. Wenn dasselbe Object entweder auf verschiedenen Seiten des fixirten Punktes erscheint, oder aber die Größe und Richtung seines Abstandes vom Fixationspunkte in hinreichend auffallender Weise verschieden ist, wird man erkennen, daß das betreffende Object in zwei verschiedene Stellen des Gesichtsfeldes eingeordnet erscheint.

Es seien in *Fig. 243* b_0 und b_1 die beiden Augen, welche den Punkt a fixiren, der ihnen demnach einfach an seinem wahren Orte im Raume erscheint. Der Punkt c , welcher näher als a ist, wird dem Auge b_0 rechts von dem Punkte a im Gesichtsfelde erscheinen müssen, da c rechts von der Gesichtslinie ab_0 liegt. Dem Auge b_1 erscheint aber der Punkt c links von a zu liegen.

Also kommt er im gemeinsamen Gesichtsfelde einmal rechts, einmal links von a vor, erscheint also doppelt, und zwar in sogenannten ungleichnamigen Doppelbildern, da das scheinbar rechts liegende Bild von a dem linken Auge, das scheinbar links liegende dem rechten Auge angehört.

Umgekehrt ist es mit dem entfernter liegenden Punkte d . Er erscheint im Gesichtsfelde des rechten Auges b_1 rechts neben a , in dem des linken Auges links neben a , folglich in gleichnamigen Doppelbildern.

Ein etwas anderer Fall ist der in *Fig. 244* dargestellte; b_0 und b_1 sind wieder die Augen, a der gemeinsame Fixationspunkt. Der Punkt c liege außerhalb des Winkels $b_0 a b_1$, in geringerem Abstände von den Augen als der Fixationspunkt. Dies Mal liegt c allerdings in den Gesichtsfeldern beider Augen nach links von a , weil die Richtungslinien $c b_0$ und $c b_1$ beide nach links beziehlich von $a b_0$ und $a b_1$ liegen. Aber der Winkel $c b_0 a$ ist viel kleiner, als der Winkel $c b_1 a$. Im Gesichtsfelde von b_0 ist also c um einen viel kleineren Winkel von a entfernt, als im Gesichtsfelde des andern Auges. Ist diese Differenz merklich genug, so erscheint das Bild wieder an zwei verschiedenen Orten des gemeinsamen Gesichtsfeldes, also doppelt. Die Doppelbilder sind aber in diesem Falle nicht so deutlich, als wenn sie auf verschiedenen Seiten des Fixationspunktes liegen, wie in *Fig. 243*. Namentlich 697

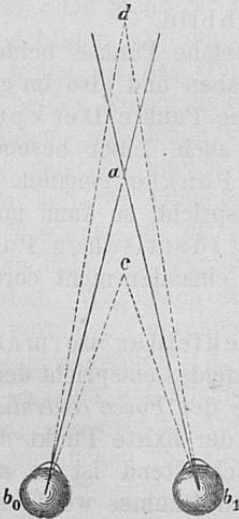


Fig. 243.

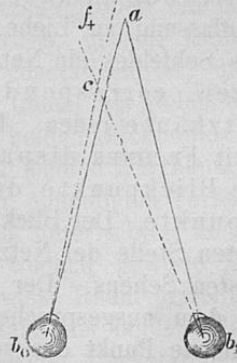


Fig. 244.

wenn sie sich mehr von a entfernen und in die Seitentheile des Gesichtsfeldes zu liegen kommen, muß ihr Abstand und der Unterschied ihrer Helligkeit von der der Umgebung schon ziemlich bedeutend sein, wenn sie bemerkt werden sollen. Etwas deutlicher werden sie, wenn sich zur Seite von a , etwa gleich weit von den Augen abgehend wie a , ein scharf bezeichnetes Object f zwischen den verlängerten Schenkeln des Winkels $b_0 c b_1$ befindet,

so daß im gemeinsamen Gesichtsfelde die Doppelbilder von c auf verschiedenen Seiten von f liegen. Man hat dann im Gesichtsfelde des Auges b_0 die scheinbare Reihenfolge acf , in dem von b_1 die Folge afc . Dann ist es leichter die Trennung der Bilder zu erkennen, als wenn man sie vor einem gleichmäßig gefärbten und erleuchteten Hintergrund sieht.

Endlich kann man auch Doppelbilder sehen, wenn die Bilder desselben Punktes in den Gesichtsfeldern beider Augen zwar gleiche Distanz von dem fixirten Punkte haben, aber hinreichend verschiedene Richtung, daß deren Unterschied auffällig genug ist.

Dies ist der Fall, wenn der Punkt c höher oder tiefer und gleichzeitig den Augen ein wenig näher als der Punkt a gelegen ist.

Wir sehen also diejenigen Objectpunkte im Allgemeinen doppelt, welche in beiden Sehfeldern hinreichend verschiedene scheinbare Lage beziehlich zum Blickpunkte haben, daß diese Verschiedenheit durch die Schätzung des Augenmaafses bemerkt werden kann. Solche Objecte dagegen, welche scheinbar gleiche Lage gegen den Fixationspunkt im Sehfelde haben, sehen wir einfach.

Ich will ein von beiden Augen als einfach gesehenes Bild ein Ganzbild nennen, die zwei Bilder zusammengenommen, welche von demselben Objecte entworfen werden, welches nicht einfach gesehen wird, ein Doppelbild, jedes einzelne der letzteren dagegen ein Halbbild.

Wir haben nun näher zu untersuchen, welche Punkte beider Sehfelder scheinbar gleiche Lage zum Fixationspunkte haben und also im gemeinsamen Gesichtsfelde sich decken. Ich nenne solche Punkte Deckpunkte oder correspondirende Punkte; man hat sie auch, einer besonderen theoretischen Auffassung zu Liebe, identische Punkte genannt. Da jedem Punkte jedes Sehfeldes ein Netzhautpunkt entspricht, so kann man auch von Deckpunkten, correspondirenden oder identischen Punkten der beiden Netzhäute reden. Punkte, welche einander nicht correspondiren, nenne ich mit FECHNER dispat.

1. Die Blickpunkte der beiden Sehfelder normaler Augen sind Deckpunkte. Der Blickpunkt jedes Sehfeldes entspricht der anatomisch ausgezeichneten Stelle der Netzhaut, der Mitte der *Fovea centralis*, der Stelle des deutlichsten Sehens. Der Blickpunkt ist der fixirte Punkt des Gesichtsfeldes. Mit dem ausgesprochenen Satze gleichgeltend ist es also auch zu sagen, der fixirte Punkt des vor uns liegenden Raumes werde stets einfach gesehen, und ein Objectpunkt, der sich auf den beiden Centren der Netzhautgruben abbilde, werde einfach gesehen.

Es ist dies ein Satz, der sich bei allen Beobachtungen normaler Augen bestätigt, von gewissen Fällen des Schielens, wo er Ausnahmen erleidet, werden wir unten handeln.

Wenn wir nach dem Grunde dieses Verhaltens fragen, so kommen wir auf die viel besprochene Frage, warum wir mit zwei Augen doch einfach sehen. Wenn man die Sinnesempfindungen einfach als Zeichen ansieht, deren

Deutung erlernt werden muß, so bietet die Beantwortung keine besondere Schwierigkeit. Fast alle äußeren Objecte afficiren gleichzeitig verschiedene Nervenfasern unseres Körpers und bringen zusammengesetzte Sinnesempfindungen hervor, die wir in ihrer Zusammensetzung als das gegebene sinnliche Zeichen des betreffenden Objects auffassen lernen, ohne uns der Zusammensetzung dieses Zeichens selbst bewußt zu werden. Im Gegentheil lernen wir die zusammengesetzte Beschaffenheit der Empfindung in den bei weitem meisten Fällen dieser Art erst durch wissenschaftliche Analyse kennen. Die Empfindung einer bestimmten Klangfarbe ist zusammengesetzt aus einer Mehrzahl von Empfindungen vieler einfacher Töne; einen Stift, den wir in der Hand halten, fühlen wir mit zwei Fingern und also durch zwei Gruppen getrennter Nervenfasern, wir riechen denselben Geruch mit zwei Nasenhöhlen, das scheinbar einfache Gefühl des Nassen, welches ein berührter Körper erzeugt, ist aus dem des Glatten und des Kalten zusammengesetzt u. s. w. In der That ist kein Grund, aus einer complicirten Wirkung auf ein so complicirtes Reagenz, wie unser Körper ist, auf ein entsprechend complicirtes Object zu schliessen.

Es wird also im Allgemeinen durchaus von der Erfahrung abhängen, ob eine häufig wiederkehrende Gruppe von Empfindungen als das sinnliche Zeichen eines oder mehrerer Objecte von uns kennen gelernt wird.

Berücksichtigen wir nun, daß der normale Gebrauch der Augen derjenige ist, wobei wir das Object, welches unsere Aufmerksamkeit zur Zeit fesselt, mit beiden Augen fixiren, also auf den Centren der beiden Netzhautgruben abbilden, mit denen wir es am genauesten sehen können, so ergibt sich daraus, daß die beiden Centra der Netzhautgruben immer Bilder desselben einen äußeren Objectes abbilden werden, dessen Einheit übrigens durch den Tastsinn, so oft als nöthig, zu constatiren ist, und daß ihre Empfindungen daher in räumlicher Beziehung immer als gleichgeltend kennen gelernt werden. Wir sehen also einfach mit beiden Blickpunkten, weil beim natürlichen normalen Gebrauche der Augen auf beiden Netzhautgruben immer dasselbe Object abgebildet ist, von dessen nur einmaligem Vorhandensein wir durch den Tastsinn unterrichtet sind oder uns unterrichten können.

Die entgegengesetzte Ansicht dagegen, wonach gewisse Empfindungen unseres Körpers schon vor aller Erfahrung gewisse Raumvorstellungen hervorzurufen im Stande sind, muß annehmen, daß die beiden Netzhautcentra ebenso, wie jedes andere Paar zusammengehöriger Deckstellen beider Netzhäute, durch einen angeborenen Mechanismus identische Raumanschauungen geben. Dies war auch der Grund, aus welchem die Deckstellen der Netzhäute zuerst als identische Stellen bezeichnet wurden. Eine kritische Vergleichung beider Ansichten läßt sich erst am Schlusse des folgenden Paragraphen geben.

Bei vielen Fällen sogenannten concomitirenden Schielens finden sich Ausnahmen von dem Gesetze, daß die Netzhautgruben Deckstellen sind, namentlich bei solchen Individuen, deren beide Augen annähernd gleich gut

brauchbar zum Sehen sind. Bei der genannten Art des Schielens können beide Augen nicht parallel gerichtet werden, sondern stehen entweder convergent oder divergent, und zwar so, daß bei allen Richtungen der Gesichtslinien der Winkel der Convergenz oder Divergenz nahehin die gleiche Größe behält. Hat ein Auge eine beträchtlich größere Sehschärfe, als das andere, so pflegt der Kranke die Objecte nur mit dem besseren Auge zu fixiren, und nur, wenn man dieses mit der Hand bedeckt, fixirt er sie mit dem andern Auge. Sind beide Augen von ziemlich gleicher Sehschärfe, so ist das Schielen alternirend, das heißt der Patient braucht zum Fixiren bald das eine, bald das andere Auge, beurtheilt übrigens mit beiden Augen die Richtung der gesehenen Gegenstände richtig. In der Mehrzahl dieser letzteren Fälle nun zeigt es sich, daß die beiden Fixationspunkte nicht mehr Deckstellen sind, sondern dem Centrum der Netzhautgrube des einen Auges eine andere, je nach der Richtung des Schielens mehr nach innen oder außen gelegene Stelle der andern Netzhaut correspondirt. Der Schielende sieht alsdann einfach trotz der falschen Stellung seiner Augen, Der Nachweis, daß er wirklich mit beiden Augen sieht, und nicht etwa bloß das eine Bild vernachlässigt, wie man sonst anzunehmen pflegte, kann geführt werden, wenn man vor eines seiner Augen ein Prisma mit der brechenden Kante nach oben oder unten gekehrt bringt. Er sieht dann, wie ein Normalsichtiger, zwei übereinanderstehende Doppelbilder des Objects. Durch das Prisma wird nämlich das Bild des einen Auges nach oben verschoben, und bei einer solchen Trennung des binocularen Ganzbildes in übereinander stehende Halbbilder kann man leicht und sicher erkennen, ob beide Halbbilder gesehen werden, und ob das eine oder das andere mehr nach rechts oder links steht. Ebenso treten Doppelbilder auf, wenn man vor das eine Auge ein Prisma mit der brechenden Kante nach links oder rechts gekehrt hält, wodurch das eine Halbbild seitlich verschoben wird, selbst wenn das Prisma so gewählt und so gehalten ist, daß nun Bilder des gleichen Objects auf die beiden Netzhautcentra fallen. Auch wenn dergleichen Patienten noch fähig sind, durch besondere Anstrengung die Augen in parallele Stellung zu bringen, wo sie entfernte Objecte einfach sehen sollten, sehen sie diese doppelt.

700 Dasselbe geschieht nun auch, wenn durch eine gelungene Operation den Augen die normale Stellung wiedergegeben ist. Die Patienten werden dann in den ersten Tagen von den Doppelbildern sehr gequält, später lernen sie diese zu übersehen, bis dann endlich, nach einem Jahre oder längerer Zeit, sich das normale Identitätsverhältniß hergestellt findet. Doch geschieht das letztere nicht in allen Fällen, namentlich nicht in solchen, wo das eine Auge eine erheblich geringere Sehschärfe hat, als das andere; in solchen bleiben meist die nach der Operation auftretenden Doppelbilder in unveränderter Stellung zu einander bestehen, aber das undeutlichere wird bei der Orientirung vernachlässigt. Endlich kommen auch Fälle vor, wo diese Vernachlässigung des einen Bildes so weit geht, daß es selbst mit Hilfe von Prismen und farbigen Gläsern nicht zur Wahrnehmung gebracht werden kann.

Ebenso wie bei geringer Sehschärfe des einen Auges die Patienten nach der Operation sich von den Doppelbildern leichter befreien durch Vernachlässigung des einen, als durch Ausbildung eines neuen Identitätsverhältnisses, so bildet sich auch bei Schielenden mit einem schlecht sehenden Auge weniger leicht die beschriebene Incongruenz der Netzhäute aus. Bei solchen zeigen sich dann selbst nach jahrelangem Schielen noch immer die beiden Netzhautcentra als correspondirend. Dasselbe ist der Fall in allen denjenigen Fällen, wo der Convergenz-, beziehlich Divergenzwinkel, den die Blicklinien miteinander bilden, veränderlich ist, entweder bei verschiedener Richtung des Sehens oder periodisch wechselnd zu verschiedenen Zeiten, weil in solchen Fällen die Bilder, welche die Netzhautgrube des einen Auges treffen, auf sehr verschiedene Stellen der andern Netzhaut fallen und sich deshalb keine feste Gewöhnung der Zusammengehörigkeit ausbilden kann.¹

Auch zeigte sich in der That bei Schielenden, deren eines Auge verminderte Sehschärfe hat, dafs sie beim Vorhalten eines rothen Glases vor ein Auge Doppelbilder bald sehen, bald plötzlich wieder nicht sehen, ohne dafs sich die Stellung des Auges geändert hat, oder dafs sie nach der Operation das farbige Bild bald rechts, bald wieder links von dem ungefärbten Bilde sehen, oder gar nicht zu sagen wissen, ob es rechts oder links sei. Bei einem solchen Auge, dessen Bilder wegen ihrer Unvollkommenheit wenig beachtet werden, bleibt, wie es scheint, die Orientirung überhaupt immer eine unsichere, und die Erinnerung an das vor dem Schielen vorhanden gewesene Identitätsverhältnifs kämpft gleichsam mit dem neuen, was sich nicht recht sicher und bestimmt ausbilden kann. ALFRED GRAEFE 701 bemerkt mit Recht, dafs hier gerade das Schwanken der Aussagen charakteristisch für den Vorgang sei.

2. Die Netzhauthorizonte beider Augen correspondiren einander. Ich habe oben auf S. 618 die Netzhauthorizonte für normal-sichtige Augen defnirt als diejenigen Meridiane beider Augen, welche bei paralleler Richtung derselben in der Primärstellung mit der Visirebene zusammenfallen, und schon angeführt, dafs diese mit einander correspondiren. Bei kurzsichtigen Augen ist das meist nicht der Fall, und ich habe oben schon vorgeschlagen, als Netzhauthorizonte diejenigen Meridiane zu betrachten, welche in die Visirebene fallen bei einer solchen Stellung der Augen, wo eine Reihe Deckstellen beider Netzhäute in der genannten Ebene liegt. Dies wird für kurzsichtige Augen meist eine etwas nach abwärts gerichtete

¹ Der Nachweis, dafs viele Schielende mit beiden Augen und doch einfach sehen, wurde geliefert von PICKFORD in ROSER und WUNDERLICH's *Archiv für physiologische Heilkunde*, 1842, S. 590. Die ersten Fälle von Incongruenz beschrieben durch ALBRECHT v. GRAEFE im *Archiv für Ophthalmologie*, I, 1, 234; darüber auch NAGEL, *Das Sehen mit zwei Augen*. Leipzig, 1861. S. 130–135. Die Resultate aus einer gröfseren Zahl von Beobachtungen giebt ALFRED GRAEFE im *Archiv für Ophthalmologie*, XI, 2, p. 1–46. Ferner F. C. DONDERS im *Archiv für die holländischen Beiträge zur Natur- und Heilkunde*, Bd. III, S. 357 und 358; *Anomalies of accommodation and refr.*, p. 164–166. Es sind dies Beobachtungen von fundamentaler Wichtigkeit für die Theorie des Binocularsehens, und wäre eine möglichst häufige und genaue Wiederholung derselben zu wünschen.

Convergenzstellung sein. Dann würde der oben hingestellte Satz nur Consequenz der Definition des Begriffs „Netzhauthorizont“ sein. Es ist aber noch zu bemerken, daß die Netzhauthorizonte auch dadurch ausgezeichnet sind, daß bei der Lage des Fixationspunktes in der Medianebene für das Augenmaafs ihre Ebenen in der Visirebene zu liegen scheinen.

Genauere Bestimmungen über die Lage der Netzhauthorizonte sind von VOLKMANN für seine (etwas kurzsichtigen) Augen gegeben worden.¹ An einer ebenen, vor den Augen befindlichen senkrechten Wand waren zwei Drehscheiben so angebracht, daß der Drehpunkt einer jeden in der optischen Axe des bezüglichen, auf die unendliche Ferne gerichteten Auges lag. Auf jeder Scheibe war eine feine Linie verzeichnet, die entweder einen Durchmesser oder einen Radius bildete und mit der Umdrehung der Scheibe ihre Lage veränderte. Die Gröfse der Drehung konnte mittels einer am Rande der Scheiben angebrachten Gradtheilung gemessen werden.

1. Versuchsreihe: Links ein Durchmesser horizontal gestellt; der Durchmesser der rechten Scheibe wurde gesucht ihm parallel zu stellen. Um die Linien getrennt zu sehen, war es nöthig, den Kopf ein wenig nach der Seite zu neigen. Im Mittel aus 30 Versuchen betrug

der Kreuzungswinkel	0°,443
der wahrscheinliche Beobachtungsfehler	0°,08

2. Versuchsreihe: Der rechte Durchmesser war horizontal gestellt, der linke wurde ihm parallel gestellt; sonst ebenso,

Kreuzungswinkel	0°,553
wahrscheinlicher Fehler	0°,11

3. Versuchsreihe: Der linke Durchmesser liegt horizontal, der rechte wird so eingestellt, daß er beim Decken mit ihm eine möglichst feine Linie darstellt. Wieder im Mittel aus 30 Versuchen

Kreuzungswinkel	0°,397
wahrscheinlicher Fehler	0°,13

702 4. Versuchsreihe: Ebenso, nur ist der rechte Durchmesser festgestellt, der linke wird bewegt,

Kreuzungswinkel	0°,467
wahrscheinlicher Fehler	0°,14

5. Versuchsreihe: Links ein horizontal gerichteter Radius; der Radius der rechten Scheibe wird so gestellt, daß er mit jenem eine gerade Linie zu bilden scheint. Im Mittel aus 30 Versuchen

Kreuzungswinkel	0°,46
wahrscheinlicher Fehler	0°,125

¹ A. W. VOLKMANN, *Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik*. Leipzig 1864, Heft 2, S. 206—208 und 222.

6. Versuchsreihe: Ebenso, nur liegt der rechte Radius fest, der linke wird gestellt.

Kreuzungswinkel	0°,463
wahrscheinlicher Fehler	0°,096

Man sieht, daß diese Versuche alle nahe übereinstimmende Resultate geben, nämlich

1.	0°,443
2.	0°,553
3.	0°,397
4.	0°,467
5.	0°,460
6.	0°,463
Mittel:	0°,464.

Der Sinn dieser Abweichung ist ein solcher, daß die äußere Seite jedes Netzhauthorizontes etwas tiefer liegt, als die innere.

7. Versuchsreihe: Endlich hat VOLKMANN noch Versuche angestellt, bei denen er nur eine Scheibe mit dem linken Auge betrachtete und den darauf gezeichneten Durchmesser horizontal zu stellen suchte; dabei stellte er im Mittel von 30 Versuchen das linke Ende um 0°,203 zu tief.

8. Versuchsreihe: Ebenso, nur wurde das rechte Auge gebraucht. Das rechte Ende des Durchmessers wurde um 0°,233 zu tief gestellt.

Die Summe beider Abweichungen $0°,203 + 0°,233 = 0°,436$ entspricht hinreichend genau dem oben gefundenen Kreuzungswinkel der Netzhauthorizonte.

Nach den Methoden der ersten vier Versuchsreihen fand VOLKMANN bei einigen andern Beobachtern den Kreuzungswinkel der Netzhauthorizonte, wie folgt

Professor H. WELCKER	0°,72
Stud. med. KÄHERL	0°,26
Dr. SCHWEIGGER-SEIDEL	0°,43.

Bei meinen eigenen Augen habe ich Versuche nach der Methode von VOLKMANN's 5. und 6. Reihe angestellt und finde keine merkliche Abweichung der Netzhauthorizonte, wenn ich vorher nur ferne Gegenstände angeblickt, oder durch längere Fortsetzung der Versuche meine Gesichtslinien parallel erhalten habe. Komme ich aber vom Lesen oder Schreiben, wobei meine Augen also convergiren, so finde ich eine kleine Abweichung in demselben Sinne, wie VOLKMANN, und von wechselnder Größe, die bei längerer Fortsetzung der Versuche wieder verschwindet.

Herr Dr. DASTICH, dessen linkes Auge normalsichtig, das rechte kurzsichtig ist, fand eine Abweichung von 0°,31.

Was nun die vermuthliche Entstehungsweise dieses Identitätsverhältnisses der horizontalen Meridiane betrifft, so müssen wir beachten, daß wir bei Fixation eines bestimmten Objectpunktes in denjenigen beiden Meridianen der Sehfelder und der Netzhäute, welche mit der Visirebene zusammenfallen, immer eine Reihe von Bildern derselben Objectpunkte finden werden, wie auch übrigens die Schnittlinie der Visirebene mit der Oberfläche des Objects verlaufen möge. Für alle anderen Meridiane dagegen wird das

Verhältniß, je nach der Lage und Form des Objects sehr wechseln. Geht zum Beispiel durch den Fixationspunkt eine gerade senkrechte Linie, so werden deren Bilder in die senkrechten Meridiane der Sehfelder und auf die entsprechenden Netzhautpunkte fallen. Ist die gesehene Linie oben gegen den Beobachter hingeneigt, so fallen ihre Bilder in zwei nach oben convergirende Meridiane der Sehfelder; entfernt sie sich dagegen nach oben hin von dem Beobachter, so wird sie in zwei nach oben divergirenden Meridianen erscheinen. So ist es also mit Ausnahme der in der Visirebene gelegenen Meridiane für jeden andern Meridian je eines Auges von der Form und Lage des gesehenen Objects abhängig, welcher Meridian des andern Auges die Bilder der auf jenem abgebildeten Objectpunkte empfängt. Nur die in der Visirebene liegenden Meridiane enthalten entsprechende Bilder unabhängig von der Form und Lage der Objecte.

Nun können allerdings bei verschiedenen Richtungen der Augen verschiedene Netzhautmeridiane in die Visirebene fallen. Wir dürfen aber wohl voraussetzen, daß bei natürlicher Lebensweise des Menschen, wenn nicht zu anhaltend einseitige Beschäftigungen mit bestimmter Haltung des Körpers und der Augen eingeschlagen werden, die Augen sich überwiegend oft in oder nahe der Primärlage befinden, und daß also diejenigen Netzhautmeridiane, die in der Primärstellung der Augen mit der Visirebene zusammenfallen — das sind aber die Netzhauthorizonte —, unter allen andern am häufigsten entsprechende Bilder empfangen und daher für sie die Gewöhnung gleicher Raumprojection sich ausbildet.

Ueberwiegende Beschäftigung mit nahen Gegenständen, die mit nach unten gerichteten convergirenden Blicken betrachtet werden, würde dagegen das Auftreten einer solchen Abweichung, wie sie VOLKMANN an sich und anderen beobachtet hat, bedingen können, denn bei einer solchen Richtung des Blickes rücken wirklich seine Netzhauthorizonte in die Visirebene.

3. Die zu den Netzhauthorizonten scheinbar verticalen Meridiane decken sich. Es ist schon oben auf Seite 687 hervorgehoben worden, daß diejenigen Meridiane der Sehfelder, welche für das Augenmaas einen scheinbar richtigen rechten Winkel mit den Netzhauthorizonten bilden, in Wahrheit mit ihrem oberen Ende etwas nach außen geneigt sind. Liegen also die Netzhauthorizonte in der Visirebene, so divergiren die scheinbar verticalen Meridiane etwas nach oben und convergiren nach unten. Diese selben scheinbar verticalen Meridiane, welche also in den beiden Sehfeldern scheinbar dieselbe Lage gegen den Fixationspunkt und Netzhauthorizont haben, zeigen sich als correspondirend in dem binocularen Gesichtsfelde.

Den Kreuzungswinkel der correspondirenden scheinbaren Verticallinien kann man nach denselben Methoden finden, wie den der Netzhauthorizonte, 704 ausgenommen diejenige, wobei die Linien zum Decken gebracht werden. Dabei verschmelzen nämlich zwei einander ähnlich gefärbte Linien zu leicht zu einem stereoskopischen Gesamtbilde, selbst wenn sie noch ziemlich disparate Richtungen haben. Man kann dies aber vermeiden, wenn man

den beiden Linien ganz verschiedene Färbung giebt, zum Beispiel einen weißen Faden auf schwarzem Grund mit einem schwarzen auf weißem combinirt. Die sichersten und übereinstimmendsten Urtheile bei solchen Vergleichen habe ich schliesslich bei folgender Methode gewonnen.

An einer senkrechten hölzernen Tafel wird ein Blatt schwarzen Papiers ausgespannt und auf diesem neben einander befestigt erstens ein rother 3 Millimeter breiter und von zwei parallelen geraden Rändern begrenzter Papierstreifen, und zweitens ein blauer Faden. Beide erhalten nahehin senkrechte Richtung, nach oben ein wenig divergirend, und solche Entfernung von einander, daß ihr Abstand in der Höhe der Augen des Beobachters dem Abstände dieser Augen gleich ist. Der Papierstreifen wird mit beiden Enden festgesteckt, der Faden mit dem oberen Ende; sein unteres ist durch ein kleines Gewicht gespannt. Das untere Ende des Fadens schiebt man so viel, als nöthig, mit einer Nadel zur Seite, die man schliesslich fest sticht, wenn der Faden die richtige Lage hat. Man blickt nun nach dem Faden und Streifen mit parallelen Gesichtslinien, so daß der blaue Faden auf der Mitte des rothen Streifens erscheint, und verschiebt den Faden so lange, bis er in seiner ganzen Länge genau auf der Mitte des Streifens zu liegen scheint. Dann steckt man die Nadel fest. Indem man die Entfernung des Fadens vom Streifen am oberen und unteren Ende abmisst, und auch den verticalen Abstand der gemessenen Punkte, kann man den Winkel, den ihre Richtungen machen, leicht bestimmen.

Der obige Satz ergibt sich am directesten, wenn man in der beschriebenen Weise die Abweichung der horizontalen und verticalen Decklinien bestimmt und außerdem die Winkel, welche die zu einer Horizontallinie scheinbar normal gerichteten Linien mit jener machen. Solche Bestimmungen hat Herr Dr. DASTICH in meinem Heidelberger Laboratorium ausgeführt und folgende Werthe gefunden:

Winkel zwischen den scheinbar verticalen Decklinien:	2° 40'
Winkel zwischen den Netzauthorizonten:	0° 18'
	Differenz 2° 22'.

Derselbe fand die Abweichung vom rechten Winkel

für sein rechtes Auge	1° 12'
für sein linkes Auge	1° 21'
	Summe: 2° 33'.

Die Differenz der ersten beiden Winkel, im Betrag von 2° 22', ist der Winkel, den die scheinbar verticalen Meridiane mit einander bilden würden bei einer Stellung der Augen, wo die Netzauthorizonte in die Visirebene fallen. Sie ist der Summe 2° 33' so nahe gleich, als die Genauigkeit solcher Versuche erwarten läßt. Das heißt also, die scheinbar verticalen Decklinien unterscheiden sich nicht merklich von denjenigen Linien, die nach dem Augenmaafs normal zu den Netzauthorizonten scheinen.

705 Dasselbe geht übrigens auch indirect aus VOLKMANN's Versuchen hervor. Derselbe hat nämlich aufser den schon erwähnten Versuchen, einen monocular gesehenen Durchmesser seiner Scheiben horizontal zu stellen (7. und 8. Versuchsreihe), auch Versuche gemacht, ihn vertical zu stellen, wobei er also die absolut verticale Richtung einzuhalten suchte, nicht die normale gegen eine horizontale sichtbare gerade Linie. Da indessen schon oben bemerkt ist, daß die Netzhauthorizonte ihm absolut horizontal erschienen unter den Umständen des Versuchs, so folgt, daß ihm die hier bestimmten scheinbar verticalen Richtungen auch normal zu den Netzhauthorizonten erscheinen mußten.

9. Versuchsreihe: Die Scheibe wird mit dem linken Auge betrachtet und der Durchmesser scheinbar vertical gestellt. Im Mittel von 30 Versuchen beträgt die Abweichung $1^{\circ},307$.

10. Versuchsreihe: Ebenso mit dem rechten Auge; Abweichung im Mittel $0^{\circ},82$.

Die Winkel zwischen den scheinbar verticalen Decklinien hat er nach denselben Methoden bestimmt, wie für die horizontalen, und folgende Zahlen erhalten

Methoden der Versuchsreihe	Mittelwerth	Wahrscheinlicher Fehler.
1	$2^{\circ},23$	$0^{\circ},16$
2	$2^{\circ},06$	$0^{\circ},07$
5	$2^{\circ},16$	$0^{\circ},22$
6	$2^{\circ},14$	$0^{\circ},21$
Gesamtmittel:	$2^{\circ},15$	

Nun ist die Summe der Abweichungen der jedem einzelnen Auge normal erscheinenden Linien:

$$1^{\circ},307 + 0^{\circ},82 = 2^{\circ},127$$

der Abweichung der Decklinien von einander so nahehin gleich, daß daraus folgt, die für das Augenmaafs in jedem Sehfelde vertical erscheinenden Linien seien auch Decklinien, und dies entspricht wieder unserem Satze.

Auf VOLKMANN's Veranlassung wiederholte SCHWEIGGER-SEIDEL die Versuche. Die Abweichung der scheinbar verticalen Linie von der wirklich Verticalen fand er für das linke Auge gleich $0^{\circ},663$, für das rechte Auge gleich $0^{\circ},657$. Die Summe beider Gröfsen ist $1^{\circ},32$. Damit nahe übereinstimmend, fand sich der Winkel zwischen den beiden scheinbar verticalen Decklinien bei ihm gleich $1^{\circ},44$.

VOLKMANN hat endlich auch Versuchsreihen noch in der Weise angestellt, daß der Diameter der einen Scheibe horizontal lag und er den der andern im binocularen Gesamtbilde senkrecht zu jenem zu stellen suchte. Auch diese Versuche zeigen gute Uebereinstimmung mit den früheren und mit dem oben hingestellten Satze, daß die scheinbar verticalen Meridiane Decklinien seien, und dieser Satz ist wieder ein Fall des oben hingestellten allgemeineren, daß Linien, die in den monocularen Sehfeldern scheinbar gleiche Lage haben, Decklinien sind. Nachdem nämlich festgestellt ist, daß die Netzhauthorizonte Decklinien sind, müssen die zu ihnen und dem Fixationspunkt scheinbar gleiche Lage habenden scheinbaren Verticalen auch Decklinien sein.

Der Winkel der scheinbaren Verticalen hat bei normalsichtigen Augen, wie es scheint, immer ziemlich dieselbe Gröfse von etwa $2\frac{1}{2}$ Grad; bei kurz-

sichtigen Augen habe ich ihn meist viel kleiner gefunden. Auch E. HERING, der kurzsichtig ist, hat ihn für seine Augen beinahe gleich Null gefunden.

In den theoretischen Untersuchungen über das monoculare Gesichtsfeld fanden wir, daß die dort betrachteten Vorgänge bei der Ausbildung des 706 Augenmaasses für diesen Winkel keine bestimmte Gröfse ergaben, ihn vielmehr unbestimmt liefsen. Gründe, die seine Gröfse zu bestimmen scheinen, werden wir weiter unten in der Lehre vom Horopter finden.

4. In den scheinbar verticalen Decklinien sind Punkte, welche gleich weit von den Netzhauthorizonten abliegen, Deckpunkte. Auch hierüber liegen genaue Versuche von VOLKMANNS vor. Jedes Auge hatte ein rechtwinkeliges Kreuz vor sich, gebildet aus der Horizontalen aa' , Fig. 245, und den Senkrechten s und s' , deren Abstand dem der Augen

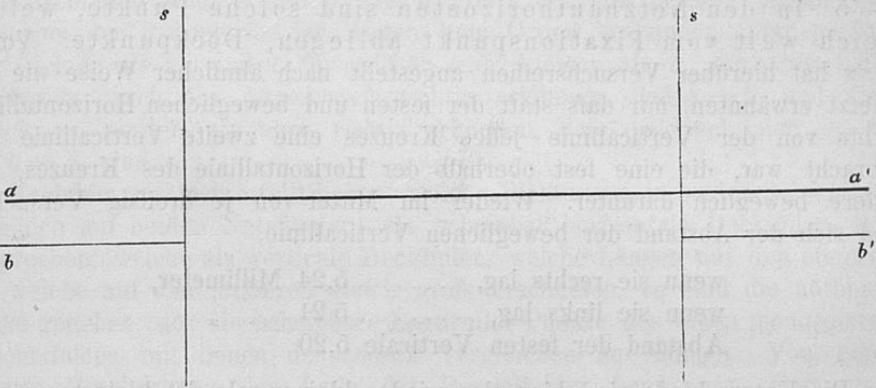


Fig. 245.

des Beobachters gleich zu machen ist. Unterhalb der Horizontallinie und nach außen von der Verticallinie jedes Kreuzes war eine zweite Horizontallinie b und b' gezogen, von denen die eine b fest, die andere b' beweglich war, so daß sie sich selbst parallel verschoben werden konnte. Der Beobachter fixirte die Mittelpunkte beider Kreuze mit parallelen Gesichtslinien, so daß sie sich scheinbar deckten, und verschob dann die bewegliche Horizontallinie b' so lange, bis sie scheinbar die genaue Fortsetzung der festen Horizontallinie b im anderen Sehfelde bildete.

Im Mittel aus je 30 Versuchen erhielt er den Abstand der beweglichen Horizontallinie

Bewegliche Horizontale rechts	5,51	Millimeter
Bewegliche Horizontale links	5,47	"
Abstand der festen Horizontale	5,50	"

Der Abstand der Linien von den Augen war 300 Millimeter, die Differenzen zwischen den beiden verglichenen Gröfßen liegen unter der Grenze der wahrnehmbaren Abstände.

Um eine feste Uebung in der Vergleichung verticaler Distanzen zwischen beiden Sehfeldern zu erlangen, sind die Verhältnisse des natürlichen Sehens besonders günstig. So oft nämlich der Fixationspunkt in der Medianebene des Körpers liegt, der Blick also geradeaus gerichtet ist, können oberhalb und unterhalb des Fixationspunktes liegende Objectpunkte zwar beiden Augen in etwas disparaten Meridianen erscheinen, aber ihr Winkelabstand vom Fixationspunkte wird immer in beiden Sehfeldern derselbe sein müssen, auch wenn jene Punkte dem Auge beträchtlich näher oder ferner liegen, als der fixirte Punkt; und es wird deshalb, so oft wir geradeaus blicken, Gelegenheit gegeben sein, Erfahrungen zu machen, welche verticale Dimensionen des einen Sehfeldes denen des andern entsprechen. Dem entsprechend werden wir später finden, daß vertical übereinander liegende Doppelbilder besonders leicht erkannt werden.

5. In den Netzhauthorizonten sind solche Punkte, welche gleich weit vom Fixationspunkt abliegen, Deckpunkte. VOLKMANN hat hierüber Versuchsreihen angestellt nach ähnlicher Weise wie die zuletzt erwähnten, nur daß statt der festen und beweglichen Horizontallinie rechts von der Verticallinie jedes Kreuzes eine zweite Verticallinie angebracht war, die eine fest oberhalb der Horizontallinie des Kreuzes, die andere beweglich darunter. Wieder im Mittel von je dreifsig Versuchen fand sich der Abstand der beweglichen Verticallinie,

wenn sie rechts lag,	5,24	Millimeter,
wenn sie links lag,	5,21	„
Abstand der festen Verticale	5,20	„

Die Unterschiede sind hier also wieder kleiner, als die kleinsten wahrnehmbaren Größen. VOLKMANN machte also auch diese Bestimmung mit sehr großer Genauigkeit.

Ich selbst finde diese Art des Einstellens sehr viel schwerer, als die von horizontalen Linien, weil bei mir eine scheinbare stereoskopische Vereinigung der Verticallinien des Kreuzes, welche fixirt werden sollen, eintritt, auch wenn meine Blicklinien etwas mehr convergiren oder divergiren, als zur genauen Vereinigung nöthig ist; und dabei schwanken dann die seitlichen Verticallinien hin und her, so daß ich nach Belieben bald die eine, bald die andere der fixirten Verticallinien näher sehen kann. Sicherer gelingt mir der Versuch, wenn auch von den fixirten Verticallinien die eine nur oberhalb, die andere nur unterhalb der Horizontalen gezogen ist.

Die Vergleichung horizontaler Distanzen in beiden Sehfeldern kann im Allgemeinen nur dann ein constantes Resultat geben, wenn sie an unendlich entfernten Objecten, des irdischen Horizontes zum Beispiel, angestellt wird. Die Entfernung zweier Punkte des Horizontes in den Bildern beider Sehfelder muß allerdings immer die gleiche sein, und durch Vergleichung solcher Bilder werden wir lernen können, welche horizontale Strecken in beiden Sehfeldern (bezüglich auf beiden Netzhäuten) gleich groß sind. Au

allen näheren Gegenständen werden nur ausnahmsweise zwei horizontal neben einander gelegene Objectpunkte in beiden Sehfeldern unter gleichem Distanzwinkel erscheinen, wegen der Verschiedenheit ihrer perspectivischen Projectionen. Dem entsprechend finden wir auch, daß horizontal neben einander liegende Doppelbilder viel leichter verschmelzen und schwerer als doppelt erkannt werden, als vertical über einander liegende. Dennoch reicht, wie VOLKSMANN'S Versuche zeigen, unter günstigen Bedingungen und bei sehr häufiger Wiederholung der Versuche die vorhandene Uebung in der Vergleichung beider Sehfelder aus, um die Gleichheit oder Ungleichheit zweier solcher Distanzen ziemlich genau und richtig zu erkennen. Es kommt freilich noch hinzu, daß wegen der symmetrischen Anordnung beider Augen keine unsymmetrische Vertheilung der Fehler zwischen beiden Augen eintreten kann. Wenn a und a_1 zwei gleiche Strecken in den äußeren Hälften beider Sehfelder sind, b und b_1 gleich große auf den inneren Hälften, so ist wegen der Symmetrie der Augen kein Grund vorhanden a für größer oder kleiner als a_1 , und b für größer oder kleiner als b_1 zu halten. Da wir ferner durch das Augenmaafs richtig erkennen, daß $a = b$, und daß $a_1 = b_1$, so werden wir auch richtig erkennen, daß die Decklinien $a = b_1$ und $b = a_1$ sind. 708

Nachdem wir festgestellt haben, welche Richtungen in beiden Sehfeldern, beziehlich auf beiden Netzhäuten, als scheinbar horizontale Decklinien sich entsprechen, welche als verticale Decklinien, welche Längen auf den ersteren und welche auf den letzteren gleich groß erscheinen, so sind die nöthigen Stücke gegeben, um die scheinbare Lage aller Punkte des einen monocularen Gesichtsfeldes mit denen des andern vergleichen zu können. Von einer genauen Vergleichung der Lage der Doppelbilder kann, wie schon oben hervorgehoben wurde, nur in den mittleren Theilen der Sehfelder die Rede sein, da an ihren peripherischen Theilen sowohl die Erkennung der Deckstellen, wie auch die Abmessung der Distanzen durch das Augenmaafs zu unsicher ist. Wir werden also den bei unserer vorliegenden Untersuchung in Betracht kommenden mittleren Theil jedes Sehfeldes als eine Ebene ansehen können.

Es sei in *Fig. 246* (S. 856) o der Fixationspunkt des rechten Auges in der Fläche des Papiers, o' der des linken Auges; ak sei die scheinbare horizontale, bl die scheinbar verticale Linie für jenes, $a'k'$ und $l'b'$ seien dieselben beiden im andern Sehfelde. Es seien ferner $co = c'o'$ gleiche Längen auf den beiden scheinbar verticalen Linien abgeschnitten, dann erscheinen auch beide Linien gleich lang und c und c' sind Deckpunkte. Ebenso seien $do = d'o'$ gleiche Längen auf den scheinbaren Horizontalen. Durch c denke man eine Parallele ef mit ak , durch c' ebenso eine Parallele $e'f'$ mit $a'k'$ gelegt. Jeder Punkt von f muß nicht bloß wirklich, sondern auch scheinbar gleich großen Abstand von ak haben wie c , da die Abstände von parallelen Linien durch das Augenmaafs richtig und genau verglichen werden können. Ebenso muß jeder Punkt von $e'f'$ scheinbar den gleichen Abstand von $a'k'$ 709

haben wie c' , und da die scheinbaren Abstände des Punktes c von der Linie ak und des Punktes c' von der Linie $a'k'$ als gleich vorausgesetzt sind, so müssen die Linien ef und $e'f'$ in beiden Sehfeldern erscheinen als Horizontallinien, die gleichen Abstand von den sich deckenden Netzhaut-horizonten haben, und müssen also selbst Decklinien sein, wenn der oben vorangestellte Satz richtig ist, daß alle Punkte, welche in beiden Sehfeldern scheinbar gleiche Lage haben, Deckpunkte seien.

Ebenso folgt, daß die Linien gh und $g'h'$ Decklinien sind, und schliesslich, daß die Punkte m und m' , in denen sich ef mit gh und $e'f'$ mit $g'h'$ schneidet, Deckpunkte sind.

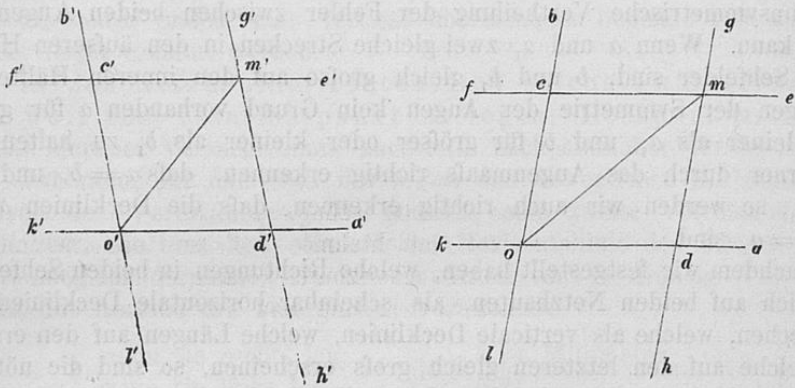


Fig. 246.

Diese Schlüsse zusammengefaßt kann man so aussprechen, daß unter Voraussetzung der Gültigkeit des mehrerwähnten Grundsatzes diejenigen Punkte beider Sehfelder Deckpunkte sind, welche gleiche und gleich gerichtete Abstände von den scheinbar horizontalen und scheinbar verticalen Decklinien haben.

Um diesen Satz an der Erfahrung zu prüfen, kann man die stereoskopischen Figuren *D*, *Taf. IV*, gebrauchen. Um eine zu leichte Verschmelzung correspondirender Linien zu verhindern, ist die rechte Seite mit weissen Linien auf schwarzem Grunde, die linke mit schwarzen Linien auf weissem Grunde gezeichnet. Die Figuren sollen mit parallelen Blicklinien angesehen werden, so daß beide sich im gemeinsamen Gesichtsfelde scheinbar decken. Wer dies nicht erreichen kann, brauche das Stereoskop. Die rechte Seite bildet für mein rechtes Auge, die linke für mein linkes ein scheinbar genau rechtwinkeliges Gitter; ich hoffe, daß dies für die meisten normalsichtigen Leser der Fall sein wird. Andernfalls muß jeder Beobachter sich ähnliche Figuren für seine Augen passend zeichnen, so daß sowohl die horizontalen wie auch die verticalen Linien der einen Figur mit den entsprechenden der andern denjenigen Winkel bilden, welcher nöthig ist, damit sie bei paralleler Blickrichtung zur Deckung gebracht werden können. Der Abstand der Mittel-

punkte beider Figuren ist gleich dem Abstände der Augenmittelpunkte des Beobachters zu machen; die Abstände der horizontalen Linien von einander sind in beiden Figuren gleich zu machen, ebenso die Abstände der Verticalen von einander.

Fixire ich nun den Mittelpunkt des rechten Gitters mit dem rechten, den des linken Gitters mit dem linken Auge, so fallen in dem gemeinschaftlichen Gesichtsfelde alle Linien des einen auf die entsprechenden des andern, was man leicht erkennen kann, da übrigens die schwarzen Linien der linken Seite nicht leicht mit den weißen der rechten Seite verschmelzen.¹

Der Versuch, der mit der *Fig. D, Taf. IV*, ausgeführt ist, giebt uns nun auch Aufschluß darüber, wie correspondirende Punkte in beiden Augen zu finden sind. Man richte die Gesichtslinien parallel der Medianebene auf die beiden Mittelpunkte der genannten Figuren, deren Ebene selbst senkrecht zur Gesichtslinie stehen soll, und denke sich durch die Horizontallinien der Figuren und durch die Knotenpunkte der Augen Ebenen gelegt. Diejenigen Ebenen, welche durch die mittlere Horizontallinie gehen, auf der der Fixationspunkt liegt, fallen unter diesen Umständen mit den Netzhauthorizonten beider Augen zusammen. Die anderen Ebenen schneiden sich unter einander und den Netzhauthorizont in einer zur Gesichtslinie normalen Horizontallinie, die wir die Aequatorialaxe des Netzhauthorizontes nennen wollen. Den Winkel zwischen einer der beschriebenen Ebenen und dem Netzhauthorizonte nennen wir den Höhenwinkel der betreffenden Ebene. Für alle Punkte einer solchen Ebene ist die scheinbare Höhe über der Visirebene gleich, wenn wir sie auf ein unendlich entferntes Gesichtsfeld projicirt denken; dem entsprechend nennen wir sie eine Ebene gleichen Höhenwinkels.

Ebenso denken wir uns Ebenen construirt durch jede der verticalen Linien der Figuren und den Knotenpunkt des betreffenden Auges. Die mittlere derselben, welche den Fixationspunkt enthält, ist die Ebene des scheinbar verticalen Meridians und wird von sämtlichen anderen Ebenen dieser Art in einer zur Gesichtslinie normalen Linie geschnitten, welche wir die Aequatorialaxe des scheinbar verticalen Meridians nennen. Den Winkel zwischen einer solchen Ebene und der Ebene des scheinbar verticalen Meridians nennen wir Breitenwinkel, und zählen diesen in beiden Augen als positiv nach rechts hin, negativ nach links. Die Ebenen, welche den Breitenwinkel einschließen, selbst nennen wir Ebenen gleichen Breitenwinkels.

Nach Feststellung dieser Begriffe läßt sich die Lage identischer Punkte in beiden Sehfeldern leicht finden. Man denke sich durch den betreffenden Punkt des Gesichtsfeldes und die Aequatorialaxen sowohl des Netzhauthorizonts

¹ Ein Beobachter, welcher durch die größere Anzahl der Linien verwirrt zu werden fürchten sollte, wie Herr E. HERING, kann die entsprechenden Beobachtungen auch leicht an einer Reihe von einfacheren Liniensystemen ausführen, wie ich es übrigens selbst auch gethan habe, ehe ich mir die beschriebenen Gitter construirt hatte. Ich hatte nicht geglaubt dies in meinem Aufsatze über den Horopter erwähnen zu müssen, will es hier aber ausdrücklich hervorheben, da es Veranlassung zu kritischen Einwüfen gegeben hat.

als auch des scheinbar verticalen Meridians Ebenen gelegt, durch welche der Höhenwinkel und der Breitenwinkel für den betreffenden Punkt des Gesichtsfeldes gegeben wird. Identisch sind solche Punkte beider Gesichtsfelder, welche gleiche Höhenwinkel und gleiche Breitenwinkel haben.

Diese Definition identischer Punkte stützt sich auf einen direct auszuführenden Versuch. Denkt man sich die beiden Figuren, welche die Eintheilung des Gesichtsfeldes darstellen, zu unendlichen Ebenen erweitert, so erhält man die Abtheilungen der identischen Punkte bis zu 90° auf jeder Seite der Gesichtslinie. Dies genügt auch vollkommen für diesen Zweck, denn wenn auch das Gesichtsfeld jedes einzelnen Auges nach aufsen etwas weiter als 90° reicht, so ist das binoculare Gesichtsfeld doch viel kleiner, weil der Nasenrücken dem andern Auge diese äußersten Theile des Feldes verdeckt. Uebrigens ist eine genaue Bestimmung der identischen Punkte durch den Versuch auch nur möglich für diejenigen Stellen beider Sehfelder, die dem Fixationspunkt ziemlich nahe liegen, denn in größerer Entfernung wird die Entscheidung darüber, welche indirect gesehene Gegenstände beider Gesichtsfelder sich decken, welche nicht, so außerordentlich unbestimmt, daß nur ganz erhebliche Differenzen der Doppelbilder überhaupt wahrgenommen werden können.

711 Es ist noch zu bemerken, daß nicht auf allen correspondirenden Meridianen der Sehfelder die Deckpunkte gleichweit vom Blickpunkte entfernt sind, wie dies von den scheinbar horizontalen und scheinbar verticalen Decklinien gilt. Wenn man in der *Fig. 246* von den Fixationspunkten o und o' die Diagonalen om und $o'm'$ nach den Deckpunkten m und m' zieht, so ist om länger als $o'm'$ und doch sind beides correspondirende Strecken auf correspondirenden Meridianen. Der genannte Unterschied ist klein.

Bezeichnet man die Strecken

$$md = co = m'd' = c'o' \text{ mit } a$$

und

$$mc = od = m'c' = o'd' \text{ mit } b$$

und die Abweichung der beiden Winkel cod und $c'o'k'$ von 90° mit ε , so sind die correspondirenden Längen

$$mo = \sqrt{a^2 + b^2 + 2ab \sin \varepsilon}$$

$$m'o' = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \sin \varepsilon}.$$

Relativ am größten wird dieser Unterschied, wenn $a = b$; dann werden nämlich diese Längen

$$mo = 2a \cos \left(45^\circ - \frac{\varepsilon}{2} \right) \text{ und } m'o' = 2a \cos \left(45^\circ + \frac{\varepsilon}{2} \right).$$

Wenn $\delta = 1^\circ 13'$, wie für meine Augen, so ist das Verhältniß dieser beiden Größen wie 1 : 1,0215, oder wie 47 : 48. Um diesen Unterschied zu

beobachten, habe ich das Liniensystem der *Fig. 247* angewendet. Das rechte Auge fixirt a' , das linke a , die Linien ac und $a'e'$ fallen dann im binocularen Bilde scheinbar in eine zusammen, ebenso ab und $a'b'$. Die Linie fg ist auf einen andern Papierstreifen gezogen, der um den entfernten Punkt g drehbar ist. Man sucht nun, während man a und a' streng fixirt, gf so einzustellen, daß sie als Fortsetzung der Linie ed erscheint. Dann fand sich, daß ich $a'f$ etwa gleich 19,5 Millimeter machte, während ad 20 Millimeter betrug. Man muß natürlich gleichzeitig genau darauf achten, daß ac und $a'e'$ als eine ununterbrochene Linie erscheinen. Der Unterschied, um den es sich hier 712 handelt, liegt ziemlich an der Grenze des Wahrnehmbaren.

Ich finde, daß die zuletzt erwähnten Unterschiede sich auch merklich machen, wenn ich zwei Systeme concentrischer Kreise, das linke mit schwarzen Linien auf weißem Grund gezeichnet, das rechte mit weißen Linien auf

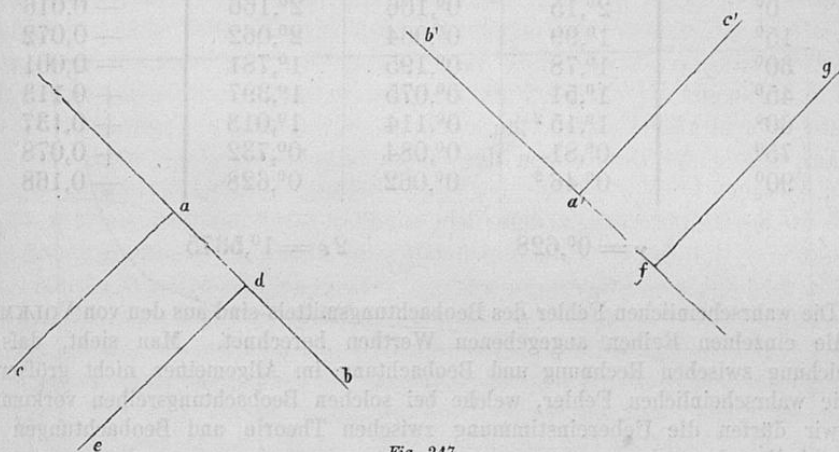


Fig. 247.

schwarzem Grunde ausgeführt, wie *O, Taf. VI*, bei fester Fixation ihrer Mittelpunkte mit parallelen Gesichtslinien zum Decken bringe. Dann decken sich die weißen und schwarzen Linien wirklich in dem verticalen und horizontalen Meridian; aber in den schräg liegenden Meridianen fallen sie neben einander, und zwar nach oben rechts und unten links die schwarzen nach außen, dagegen oben links und unten rechts die weißen. Der nach oben rechts gerichtete Radius des rechten Feldes müßte nämlich länger gemacht werden, als der nach oben rechts gerichtete Radius des linken Feldes, um ihm gleich zu erscheinen. Folglich erscheint jener kürzer, dieser länger.

Es ergibt sich aus der oben hingestellten Betrachtungsweise auch ein Gesetz für die Größe derjenigen Winkel, welche verschieden gerichtete Decklinien mit einander machen. Die Berechnung, welche unten nachzusehen ist, ergibt für die Winkeldifferenz Δ zweier correspondirender Meridiane bei parallelen Blicklinien den Ausdruck

$$\Delta = \gamma + 2\varepsilon \sin^2 \beta,$$

worin γ der Winkel zwischen den Netzhauthorizonten in der betreffenden Augenstellung, 2ε der Winkel zwischen den scheinbar verticalen Meridianen, und β der Mittelwerth des Winkels ist, den die beiden zu vergleichenden Decklinien mit ihren Netzhauthorizonten bilden.

Eine Reihe von Messungen, welche VOLKMANN über die Winkel zwischen correspondirenden Meridianen angestellt hat,¹ machen eine Vergleichung dieser Formel mit der Erfahrung möglich. In der folgenden Tabelle sind die Constanten γ und ε der obigen Formel nach der Methode der kleinsten Quadrate aus den gesammten Beobachtungen bestimmt worden.

Kreuzungswinkel correspondirender Meridiane für VOLKMANN's Augen.

Neigung gegen die Verticale $90^\circ - \beta$	Kreuzungswinkel			Differenz zwischen Beobachtung und Rechnung
	beobachteter Mittelwerth	wahrschein- licher Fehler	berechnet	
0°	$2^\circ,15$	$0^\circ,106$	$2^\circ,166$	$-0,016$
15°	$1^\circ,99$	$0^\circ,064$	$2^\circ,062$	$-0,072$
30°	$1^\circ,78$	$0^\circ,195$	$1^\circ,781$	$-0,001$
45°	$1^\circ,51$	$0^\circ,075$	$1^\circ,397$	$+0,113$
60°	$1^\circ,15^2$	$0^\circ,114$	$1^\circ,013$	$+0,137$
75°	$0^\circ,81$	$0^\circ,084$	$0^\circ,732$	$+0,078$
90°	$0^\circ,46^3$	$0^\circ,062$	$0^\circ,628$	$-0,168$

$\gamma = 0^\circ,628$

$2\varepsilon = 1^\circ,5375$

Die wahrscheinlichen Fehler des Beobachtungsmittels sind aus den von VOLKMANN für die einzelnen Reihen angegebenen Werthen berechnet. Man sieht, dafs die 713 Abweichung zwischen Rechnung und Beobachtung im Allgemeinen nicht gröfser ist, als die wahrscheinlichen Fehler, welche bei solchen Beobachtungsreihen vorkommen, und wir dürfen die Uebereinstimmung zwischen Theorie und Beobachtungen wohl für befriedigend ansehen.

Nachdem wir die Lage der Deckpunkte in den beiden Sehfeldern bestimmt haben, können wir dazu übergehn, die Lage derjenigen Punkte des äußeren Raumes zu bestimmen, welche sich auf correspondirenden Stellen beider Netzhäute abbilden und defshalb einfach gesehen werden. Man nennt den Inbegriff dieser Punkte den Horopter. Derselbe ist im Allgemeinen eine Curve doppelter Krümmung, welche als die Schnittlinie zweier Flächen zweiten Grades (Hyperboloide mit einer Mantelfläche, Kegel oder Cylinder) angesehen werden kann. Die Schnittlinie zweier Flächen zweiten Grades ist im Allgemeinen vom vierten Grade, das heißt, kann von einer Ebene in je vier Punkten geschnitten werden. In dem hier vorliegenden Falle haben aber die beiden schneidenden Flächen eine gerade Linie gemein, welche nicht Horopter ist, und der Rest der Schnittlinie ist eine Curve dritten

¹ Versuch 100 bis 112 im zweiten Hefte seiner *Physiologischen Untersuchungen im Gebiete der Optik*. S. 202—213.

² Bei VOLKMANN, S. 213, ein Rechnungsfehler.

³ Mittel aus den beiden Versuchsreihen 106 und 107.

Grades, das heißt eine solche, welche von einer beliebigen Ebene nur in drei Punkten geschnitten werden kann. Diese Curve hat die bemerkenswerthe Eigenschaft, daß wenn man durch irgend einen festen Punkt derselben einerseits und durch alle andern Punkte der Curve andererseits gerade Linien legt, diese Linien einen Kegel zweiten Grades bilden. Wählt man als Spitze des Kegels einen unendlich entfernten Punkt der Curve (dieselbe läuft nämlich mit mindestens zwei Aesten in das Unendliche hinaus), so wird der Kegel ein Cylinder, dessen Basis eine Curve zweiten Grades ist. Um eine Anschauung von der Gestalt einer solchen Curve dritten Grades zu geben, können wir uns dieselbe auf eine Cylinderfläche gezeichnet denken und die Cylinderfläche in die Ebene abgerollt.

Die ausgezogene Curve *cabcf* der *Fig. 248* würde dann die Form der Curve darstellen. Man denke sich das Papier zu einem Cylinder mit kreis-

714

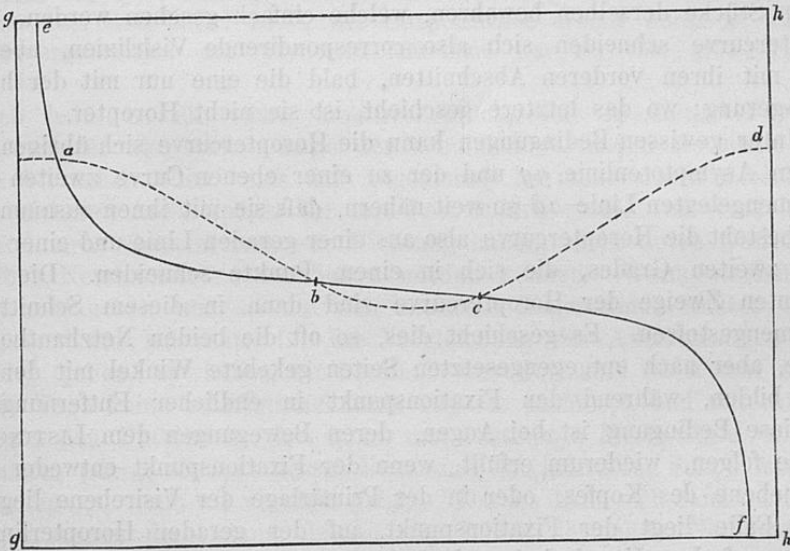


Fig. 248.

förmiger Basis zusammengerollt, so daß die Linien *gg* und *hh* aufeinander fallen, so würde die gezeichnete Curve die Form einer Curve dritten Grades erhalten. Die punktirte Curve bezeichnet die Schnittlinie einer Ebene (zum Beispiel der Visirebene) mit dem Cylinder. Von dieser Ebene wird die Curve dritten Grades in drei Punkten *a*, *b*, *c* geschnitten. An zwei Stellen *e* und *f* läuft die Curve in das Unendliche aus, indem sie sich asymptotisch der geraden Linie *gg* oder der damit identischen *hh* nähert.

Betrachten wir die Curve dritten Grades als Horoptercurve, so muß dieselbe durch die Mittelpunkte der Visirlinien beider Augen gehen. Es seien *b* und *c* die Orte der beiden Augen, *a* der Fixationspunkt. Dann fällt das Stück der Curve, welches zwischen ihnen liegt, nämlich *bc* zwischen beide

Augen in das Innere des Kopfes und kann nicht als Theil des Horopters (wenigstens nicht nach dem gewöhnlichen Sprachgebrauche, dem die oben gegebene Definition entspricht) angesehen werden, weil Punkte dieses Theils, wenn sie Strahlen aussenden und diese wirklich in beide Augen fallen könnten, sich auf den beiden äußeren, also nicht correspondirenden Netzhauthälften abbilden würden; wie denn überhaupt die ganze Bestimmung des Horopters für die den Augen sehr nahe gelegenen Raumpunkte, von denen sie nur breite Zerstreuungsbilder bilden können, alle praktische Bedeutung verliert. Der Horopter, als solcher, besteht dann also aus zwei vollkommen getrennten Zweigen, eb und fc , aus denjenigen beiden Stücken der Curve dritten Grades, welche zwischen den Augen und Unendlich liegen. Da es für die mathematische Behandlung bequemer ist, die Curve dritten Grades in ihrem ganzen Zusammenhang zu betrachten, wollen wir sie die Horoptercurve nennen und den Namen des Horopters oder Punkthoropters für diejenigen Stücke derselben bewahren, welche einfach gesehen werden. In der Horoptercurve schneiden sich also correspondirende Visirlinien, aber bald beide mit ihren vorderen Abschnitten, bald die eine nur mit der hinteren Verlängerung; wo das letztere geschieht, ist sie nicht Horopter.

Unter gewissen Bedingungen kann die Horoptercurve sich übrigens ihrer geraden Asymptotenlinie gg und der zu einer ebenen Curve zweiten Grades zusammengelegten Linie ad so weit nähern, daß sie mit ihnen zusammenfällt. Dann besteht die Horoptercurve also aus einer geraden Linie und einer ebenen Curve zweiten Grades, die sich in einem Punkte schneiden. Die beiden getrennten Zweige der Horoptercurve sind dann in diesem Schnittpunkte zusammengestoßen. Es geschieht dies, so oft die beiden Netzhauthorizonte gleiche, aber nach entgegengesetzten Seiten gekehrte Winkel mit der Visirebene bilden, während der Fixationspunkt in endlicher Entfernung liegt, und diese Bedingung ist bei Augen, deren Bewegungen dem LISTING'schen Gesetze folgen, wiederum erfüllt, wenn der Fixationspunkt entweder in der Mediane ebene des Kopfes, oder in der Primärlage der Visirebene liegt. Im ersten Falle liegt der Fixationspunkt auf der geraden Horopterlinie, im zweiten auf dem Kegelschnitt, der unter dieser Bedingung ein Kreis wird, J. MÜLLER'S Horopterkreis. Und endlich wenn der Fixationspunkt sowohl in der Mediane ebene des Kopfes, als auch in der Primärlage der Visirebene liegt, so schneiden sich in ihm die gerade Horopterlinie und der Kreis. Genauere Constructions methoden für die Lage der Horopterlinien werden unten mit der mathematischen Theorie des Horopters gegeben werden.

In einem einzigen Falle ist der Horopter eine Fläche, und zwar eine Ebene, wenn nämlich der Fixationspunkt in der Mediane ebene in unendlicher Entfernung liegt; und die Netzhauthorizonte, wie es bei normalsichtigen Augen mindestens sehr angenähert zu sein pflegt, dabei in der Visirebene liegen. Diese Horopterebene ist dann der Visirebene parallel; ihre Entfernung von dieser hängt ab von der Größe der Divergenz der scheinbar verticalen Meridiane beider Sehfelder; sie geht nämlich durch die Schnittlinie der

genannten beiden Meridianebenen und pflegt für normalsichtige Augen, die geradeaus gegen den Horizont gerichtet sind, mit der Fußbodenebene des stehenden Beobachters nahehin zusammenzufallen, während sie bei kurzsichtigen meist in gröfserer Entfernung liegt.

Die Entfernung der Mittelpunkte meiner Augen von einander ist 68 Millimeter, ihre Höhe über dem Boden 1660. Legt man durch ihre Mittelpunkte und die Medianlinie des Fußbodens Ebenen, so schneiden sich diese unter einem Winkel von $2^{\circ} 20' 48''$; der Winkel zwischen meinen scheinbar verticalen Meridianen beträgt $2^{\circ} 22'$. Bei Herrn Dr. KNAPP, welcher normalsichtig ist, beträgt die Augendistanz 62,5, die Höhe der Augen über dem Boden 1627 Millimeter. Dies entspricht einem Winkel von $2^{\circ} 14' 20''$. Die Beobachtung ergab im Mittel $2^{\circ} 8'$. Bei Herrn Professor VOLKMANN, der schwach kurzsichtige Augen von derselben Distanz und nahehin derselben Höhe über dem Boden hat, wie ich selbst, ist die Abweichung etwas gröfser, da der Winkel zwischen den scheinbar verticalen Meridianen nur $2^{\circ} 9'$ beträgt. Bei Herrn Dr. DASTICH ist die Augendistanz 62,8, die Höhe über dem Boden 1640, der entsprechende Winkel würde $2^{\circ} 11'$ sein; der Convergenzwinkel der verticalen Meridiane war bei ihm gröfser $2^{\circ} 33'$ bis $2^{\circ} 40'$.

Ich halte es für nicht unwahrscheinlich, dafs in diesem Verhältnifs der Grund für die schiefe Lage der scheinbar verticalen Meridiane liegen mag. Wir sahen oben, dafs das Augenmaafs im monocularen Gesichtsfelde keinen sicheren Anhaltspunkt für ihre Feststellung giebt, weil Winkel, deren Schenkel nicht übereinstimmende Richtung haben, nicht durch Deckung mit denselben Netzhautstellen verglichen werden können. Wenn wir nun beide Augen gebrauchen und sie auf weit entfernte Gegenstände richten, welche allein constante Resultate für die Vergleichung der Ausmessungen beider Sehfelder geben, so haben wir oberhalb des Horizonts meist den Himmel, der bei Tage keine scharfgezeichneten Objecte darbietet, und unterhalb des Horizonts den Fußboden, der nicht nur bestimmte Merkpunkte in Menge darzubieten pflegt, sondern dessen Beachtung im indirecten Sehen wesentlich nothwendig ist, wenn wir vorwärts gehen. Daraus kann sich dann bei normalsichtigen Augen die Uebung bilden, die Bilder derjenigen Netzhautpunkte gleich zu localisiren, auf welchen beim Gehen die gleichen Punkte des Bodens sich abzubilden pflegen. Kurzsichtige Augen, die den Fußboden nicht deutlich sehen, werden diesem Einflusse entzogen sein und ihre Identitätsverhältnisse mehr an nahen Gegenständen ausbilden müssen.

Zu erwähnen ist noch, dafs wenn bei aufrechter Haltung des Körpers und Kopfes ein Punkt der Fußbodenlinie betrachtet wird, der auch in der Medianebene des Kopfes liegt, zwar nicht die ganze Bodenebene Horopter 716 ist, aber doch die gerade Horopterlinie ganz in die Bodenfläche fällt.

Es scheinen übrigens auch Augen vorzukommen, bei denen die scheinbar verticalen Meridiane nicht ganz gerade sind, sondern in der Gegend des Fixationspunktes eine schwache Knickung haben, so dafs ihre oberen Hälften einen kleineren Winkel mit einander machen, als die unteren. Ein in optischen Beobachtungen sehr geübter Studirender beschrieb mir die

Erscheinungen in seinen Augen so. Da scheint dann der Einfluß des Fußbodens nur für die unteren Theile der Sehfelder (obere Netzhauthälften) sich geltend gemacht zu haben, während für die anderen Theile nicht das Bedürfnis gerade Linien als gerade zu sehen entscheidend war, sondern Beobachtungen an steiler stehenden Objectflächen ein selbständiges Identitätsverhältniß ausbildeten.

Die bisherigen Angaben bezogen sich auf den Horopter, als Ort von Punkten, welche einfach gesehen werden sollen. Wenn Linien einfach gesehen werden sollen, so ist nur nöthig, daß die Linien beider Netzhäute, auf denen sie abgebildet sind, Decklinien seien, ohne daß gerade Punkt für Punkt der Bilder correspondirt. Wenn ein zweites Bild einer Linie in Richtung der Linie selbst verschoben ist, kann es mit dem ersten doch noch in ganzer Länge sich decken. Dieser Fall wird namentlich an geraden Linien, die sich in sich selbst fortdauernd congruent verschieben können, vorkommen. Die Fläche, in welcher gerade Linien bestimmter Richtung liegen müssen, um in dieser Weise zwei correspondirende Bilder zu liefern, heißt ein Linienhoropter. Derselbe heißt Verticalhoropter für die Linien, die in den beiden Sehfeldern normal zu den Netzhauthorizonten erscheinen, Horizontalhoropter für die, welche den Netzhauthorizonten parallel erscheinen. Ein solcher Linienhoropter für Linien, deren Bilder in den Sehfeldern parallele Richtung haben, ist im Allgemeinen ein Hyperboloid mit einer Mantelfläche, was in besonderen Fällen in einen Cylinder oder Kegel übergehen kann. Der Linienhoropter für solche Systeme gerader Linien, die sich in einem Punkte der Horoptercurve schneiden, ist ein Kegel zweiten Grades, welcher den gemeinsamen Schnittpunkt mit den andern Punkten der Horoptercurve verbindet.

Überhaupt wird jede gerade Linie, welche durch zwei Punkte der Horoptercurve geht, einfach gesehen, und durch jeden binocular gesehenen Punkt des Raumes läßt sich mindestens eine einfach erscheinende gerade Linie legen. Diese letztere läßt sich folgendermaassen finden. Von dem betreffenden Punkte werden die Visirlinien nach beiden Augen gezogen; die eine sei bezeichnet mit a , die andere mit b' . Im ersten Auge giebt es eine Visirlinie b , die mit b' correspondirt, und im zweiten Auge eine solche a' , die mit a correspondirt. Man lege eine Ebene durch a und b , eine zweite durch a' und b' ; die Linie, in der beide Ebenen sich schneiden, ist die gesuchte einfach gesehene Linie.

717 Ich lasse hier noch die Beschreibung der Constructionen folgen, mittels deren man in den beiden oben erwähnten einfacheren Fällen die Lage des Vertical- und Horizontalhoropters und damit auch die Lage der Horoptercurve finden kann, unter der Voraussetzung, daß die Augen des Beobachters dem Bewegungsgesetze von LISTING folgen und in der Primärstellung keine merkliche Abweichung der Netzhauthorizonte von der Visirebene haben.

A. Fixationspunkt in der Medianebene. Der Verticalhoropter ist ein Kegel, der Horizontalhoropter besteht aus zwei sich schneidenden

Ebenen, die Horoptercurve aus einer geraden Linie und einem ebenen Kegelschnitt.

In *Fig. 249* falle die Ebene der Zeichnung zusammen mit der Medianebene des Kopfes des stehenden Beobachters, und die Haltung des Kopfes sei so, daß die Primärlage der Blicklinien horizontal und parallel AO in die Ferne gerichtet sei. Der Punkt o sei der zwischen den Mittelpunkten der Visirlinie beider Augen mitten inne gelegene Punkt. Man errichte in o das Loth oa auf der Linie oA und mache es so lang, daß sich in seinem tiefsten Punkte a die scheinbar verticalen Äquatorialaxen der Augen, wie sie in der Primärlage der Blicklinien gestellt sind, schneiden. Eine horizontal durch a gelegte Ebene, die durch DE geht, ist dann der Horopter für die Sehrichtung oA . Diese Ebene fällt, wie bemerkt, bei normalsichtigen Augen nahehin mit der Fußbodenfläche zusammen.

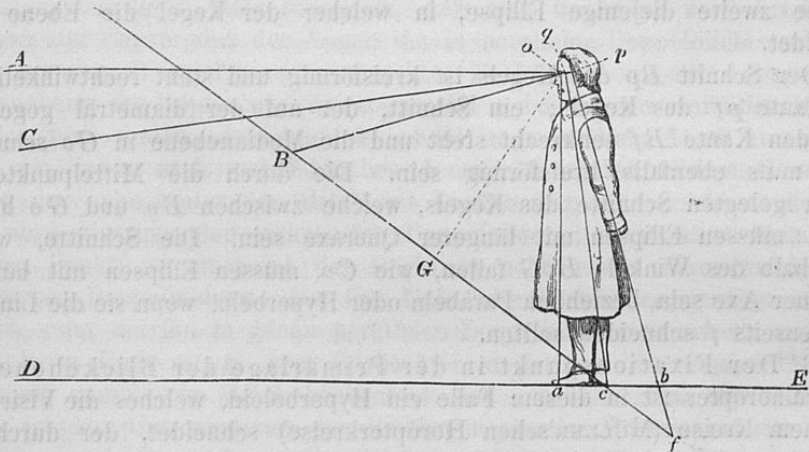


Fig. 249.

Nun werde B Fixationspunkt, welcher Punkt in der Ebene der Zeichnung, das heißt in der Medianebene des Kopfes des Beobachters angenommen wird. Bo ist die Schnittlinie der Visirebene mit der Medianebene. In der Visirebene denken wir uns den MÜLLER'schen Kreis construiert, der durch B und die Centra der Visirlinien beider Augen geht; sein medianer Durchmesser sei Bp . Man errichte auf Bp das Loth pb , in welchem die Spitze des Verticalhoropterkegels liegt.

Um den Ort dieser Spitze zu finden, nehmen wir einen dritten Fixationspunkt zu Hilfe C , der so gewählt ist, daß wenn wir unter o' das Centrum der Visirlinien des einen oder andern Auges verstehen, welcher Punkt also etwas vor oder hinter der Ebene der Zeichnung in einem in o errichteten Perpendikel liegen müßte, dann die Linie Co' den Winkel $Ao'B$ halbirt.

Die Visirebene für den Fixationspunkt C ist dann die eine Ebene des Horizontalhoropters für den Fixationspunkt B . Die zweite Ebene des Horizontal-

718 horopters ist die Medianebene. Construirt man in der Visirebene für C den MÜLLER'schen Kreis, das heißt einen Kreis, der durch den Fixationspunkt und die beiden Centra der Visirlinien geht, und dessen Durchmesser Cq sein möge, so werden einfach gesehen 1. alle geraden Linien überhaupt, welche in der Ebene Coo' liegen, 2. alle geraden Linien in der Medianebene, welche durch den Punkt q gehen. Bei den letzteren aber freilich correspondirt das Bild ihres entfernteren Endes im einen Auge mit dem Bilde des näheren Endes im andern.

Man errichte in q ein Loth auf Cq , welches die Linie DE in c schneidet, dann ist Bc die gerade Horopterlinie und der Punkt f , in welchem sich Bc und pb schneiden, ist die Spitze des Verticalhoropterkegels, welcher übrigens durch den MÜLLER'schen Kreis vom Durchmesser Bp in der Visirebene des Beobachters geht, und dadurch gegeben ist.

Während also die eine Linie des Punkthoropters die Gerade Bf ist, ist die zweite diejenige Ellipse, in welcher der Kegel die Ebene Coo' schneidet.

Der Schnitt Bp des Kegels ist kreisförmig und steht rechtwinkelig auf der Kante pf des Kegels; ein Schnitt, der auf der diametral gegenüber liegenden Kante Bf senkrecht steht und die Medianebene in Go schneiden mag, muß ebenfalls kreisförmig sein. Die durch die Mittelpunkte der Augen gelegten Schnitte des Kegels, welche zwischen Bo und Go hineinfallen, müssen Ellipsen mit längerer Queraxe sein. Die Schnitte, welche außerhalb des Winkels BoG fallen, wie Co , müssen Ellipsen mit längerer medianer Axe sein, beziehlich Parabeln oder Hyperbeln, wenn sie die Linie Bf erst jenseits f schneiden sollten.

B. Der Fixationspunkt in der Primärlage der Blickebene. Der Verticalhoropter ist in diesem Falle ein Hyperboloid, welches die Visirebene in einem Kreise (MÜLLER'schen Horopterkreise) schneidet, der durch den Fixationspunkt und die beiden Centra der Visirlinien geht. Der Horizontalhoropter besteht aus zwei Ebenen, von denen die eine die Visirebene, die andere normal dazu ist. Die Horoptercurve besteht aus dem MÜLLER'schen Kreise und einer geraden Linie.

Es seien in *Fig. 250* a und b die Centra der Visirlinien für beide Augen, c der fixirte Punkt, so ist der durch abc gelegte Kreis der MÜLLER'sche Horopterkreis und ein Theil der Horoptercurve. Es sei ferner fg die Medianlinie der Visirebene, so schneidet die gerade Horopterlinie den Kreis in f , also seitlich vom Fixationspunkte. Man ziehe den Durchmesser cd und die Linie fd . In letzterer

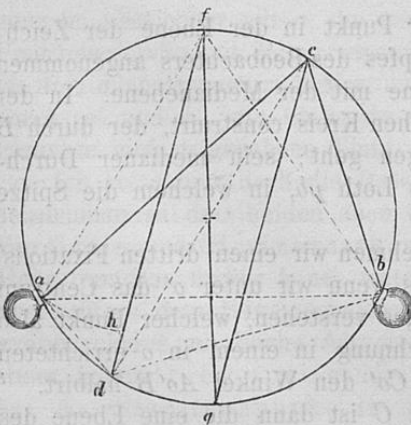


Fig. 250.

errichte man eine Ebene normal zur Ebene des Kreises; diese ist die zweite Ebene des Horizontalhoropters. Alle geraden Linien, die in dieser Ebene liegen und durch den Punkt d gehen, werden einfach gesehen; andererseits auch alle geraden Linien, die in der Visirebene liegen.

Um die gerade Horopterlinie vollständig zu construiren, schneide man auf fd die Länge $fh = fa$ ab, errichte in h ein Loth auf der Visirebene; dieses schneidet die Fußbodenfläche, das heißt die unendliche Horopterebene für die Primärlagen der Blicklinien, in demselben Punkte wie die gerade Horopterlinie, und dadurch ist letztere zu finden.

Wenn die Abweichung der scheinbar verticalen Meridiane gleich Null ist, wird die gerade Horopterlinie senkrecht zur Ebene des Kreises.

Empirisch kann man die Richtung des Linienhoropters finden, wenn man einen glänzenden geraden Draht oder einen weissen gespannten Faden vor dunklem Grunde so richtet, das man ihn durch zwei verschiedenfarbige Gläser einfach sieht, oder besser so, das man bei etwas vermehrter oder verminderter Convergenz der Augen ihn in parallelen Doppelbildern erblickt. Hält man zum Beispiel einen senkrechten Draht nahe vor die Augen in der Medianebene des Kopfes und fixirt seine Mitte bei horizontaler Blickrichtung, so wird man finden, das sein oberes Ende im rechten Auge etwas nach links, im linken nach rechts hinüber geneigt erscheint. Fixirt man einen Punkt, der nahe hinter der Mitte des Drahtes liegt, so erscheint dieser in nach oben divergirenden gekreuzten Doppelbildern; fixirt man einen etwas näheren Punkt, so erscheint der Draht in nach unten divergirenden ungekreuzten Doppelbildern. Um den Draht durch zwei farbige Gläser genau einfach, oder um ihn in genau parallelen Doppelbildern zu sehen, muß man sein oberes Ende etwas vom Beobachter entfernen. Es wurde diese Erscheinung zuerst von BAUM beobachtet und von MEISSNER, wie früher erwähnt ist, zur Untersuchung der Raddrehungen der Augen benutzt. Sowie nämlich durch Raddrehung der Winkel zwischen den scheinbar verticalen Decklinien verändert wird, muß auch die Neigung des Drahtes gegen die Visirebene geändert werden, wenn er einfach erscheinen soll. Je entfernter der Fixationspunkt und je mehr die Blickebene gehoben ist, desto stärker muß der Draht gegen diese Ebene geneigt werden. Bei gesenkter Blickrichtung und nahem Fixationspunkte dagegen kann er senkrecht gegen die Blickebene, oder sogar mit seinem oberen Ende dem Beobachter zugeneigt stehen.

Nachdem wir in solcher Weise bestimmt haben, welche Dimensionen in beiden Sehfeldern als gleich und ungleich erscheinen, haben wir noch die Genauigkeit dieser Vergleichung der Sehfelder zu untersuchen. Diese Genauigkeit ist, wie schon im vorigen Paragraphen erörtert wurde, sehr groß, wenn es sich wie beim gewöhnlichen Gebrauche der Augen darum handelt, Verschiedenheiten der Tiefendimensionen der gesehenen Objecte zu erkennen. Die Vergleichung ist dagegen verhältnißmäßig ungenau und mancherlei Täuschungen unterworfen, wenn es sich darum handelt, Doppel-

bilder zu erkennen, oder die Lage der Bilder in den beiden Sehfeldern zu vergleichen. Obgleich das letztere der einfachere Vorgang zu sein scheinen könnte, während die Beurtheilung des stereoskopischen Reliefs mannigfache Erfahrungsmomente zu Hülfe nehmen muß, so ist die letztere doch um so besser eingeübt, weil sie von der hervorragendsten praktischen Wichtigkeit ist, während die Wahrnehmung der Doppelbilder und ihrer Lage gegen einander nur die Erscheinung der Objecte, nicht diese selbst betrifft. Ebenso
 720 vergleichen wir die wirklichen Dimensionen zweier verschieden entfernter Objecte viel sicherer, als die Gesichtswinkel, unter denen sie erscheinen, obgleich die letzteren unmittelbar gleichen oder ungleichen Netzhautstrecken entsprechen, während bei ersterer Vergleichung eine lange Einübung durch Erfahrung nothwendig ist, um den Einfluß der Entfernung auf die Größe der Netzhautbilder desselben Objects kennen zu lernen.

Was zunächst die Beurtheilung der Tiefendimensionen mittels des binocularen Sehens betrifft, so geschieht diese am genauesten bei denjenigen Objecten, welche im Horopter liegen und genau einfach gesehen werden, gewisse oben schon erwähnte Täuschungen ausgenommen, die von mangelhafter Schätzung der Convergenz der Gesichtslinien herrühren. Weniger genau ist dieselbe für Objectpunkte die sich zwar vom Horopter entfernen, aber noch nicht so weit, daß die entstehenden Doppelbilder als solche wahrgenommen würden, am geringsten endlich bei Objecten, welche in deutlich getrennten Doppelbildern erscheinen, um so geringer, je weiter diese auseinander treten.

Ich habe schon früher¹ darauf aufmerksam gemacht, und dasselbe ist durch E. HERING² bestätigt worden, daß die Doppelbilder keineswegs, wie es die ältere Annahme war, in der gleichen Entfernung wie das fixirte Object erscheinen und etwa auf eine imaginäre Horopterfläche, die durch den Fixationspunkt gehen sollte, projicirt würden. Sondern die Doppelbilder erscheinen nahehin in der richtigen Entfernung, wo sich das entsprechende Object befindet. Man kann sich davon durch einfache Versuche leicht überzeugen. Man fixire ganz fest und ohne die Augen zu verwenden einen Punkt der Wand in der Entfernung von einigen Fuß und halte dabei ein Blatt steifen Papiers so vor den unteren Theil des Gesichts, daß sein oberer Rand einige Zoll vor den Augen und ungefähr in derselben Höhe liegt. Der Papierschirm verdeckt in dieser Stellung alle Gegenstände, die vor dem Beobachter unterhalb seiner Visirebene liegen. Nun lasse man von einem seitlich stehenden Gehilfen eine Stricknadel von unten her in einer beliebig von ihm gewählten Entfernung so in die Höhe schieben, daß ihr oberes Ende dem Beobachter sichtbar, und zwar, wenn dieser gut und sicher fixirt, von Anfang an nur in Doppelbildern sichtbar wird. Sogleich wird der Beobachter eine Vorstellung von der Entfernung des Drahtes erhalten, auch wenn er nicht ein einziges Mal seinen Fixationspunkt verlassen und die

¹ v. HELMHOLTZ, *Archiv für Ophthalmologie*. X. 1, S. 27.

² HERING, *Beiträge zur Physiologie*, Heft 5, S. 335.

Nadel einfach gesehen hat. Zur Probe versuche er nach dem verdeckten Theile derselben zu greifen, so dafs ihm seine Hand auch durchaus verdeckt bleibt. Er wird den Draht gleich beim ersten Versuche treffen, oder wenigstens ganz nahe daran vorbeifahren. Damit der Beobachter hierbei kein Urtheil aus der scheinbaren Dicke des Drahtes auf seine Entfernung bilde, was freilich kaum zu fürchten ist, lasse er den Gehilfen aus einem Vorrath verschieden dicker Nadeln eine beliebige wählen.

Auch bei den Versuchen mit beweglichen stereoskopischen Objecten, welche scheinbar ihre Entfernung vom Beobachter ändern, wie bei dem oben, S. 838 beschriebenen Instrument von HALSKE, kommen oft deutlich getrennte Doppelbilder zum Vorschein, namentlich bei schneller Bewegung, der die Blicklinien nicht schnell genug folgen können, wodurch aber die Täuschung über die scheinbare Tiefenbewegung durchaus nicht gehindert wird. 721

Nur bei sehr weit getrennten Doppelbildern, wie sie namentlich von weit entfernten Objecten sich bilden, wenn ein naher Gegenstand fixirt wird, und an denen kaum noch die Zusammengehörigkeit beider Bilder erkannt wird, hört die binoculare Tiefenwahrnehmung auf und es kann dann wie beim monocularen Sehen die Winkelgröfse des entfernten Objects mit der Winkelgröfse des fixirten verglichen werden. Von dem fixirten Objecte kennt man aber die wahre lineare Gröfse, und diese wird dann unwillkürlich der Maafstab auch für das Bild des entfernteren Objects. Wendet man sich also zum Beispiel gegen die Häuser jenseits der Strafe und fixirt den vorgehaltenen Finger, so werden die in weit getrennten Doppelbildern sichtbaren Häuser scheinbar gröfser, wenn man den Finger entfernt, kleiner, wenn man ihn nähert. Im ersten Falle nimmt die Winkelgröfse des Fingers ab; relativ zu ihm wird die Winkelgröfse der Häuser also gröfser, und wir brauchen den Finger als constanten Maafstab, da dessen lineare Gröfse und Entfernung fortdauernd deutlich wahrgenommen wird, die der entfernten Häuser aber nicht.

Wie nun bei solchen weit von einander getrennten Doppelbildern die zunehmende Unsicherheit der binocularen Tiefenwahrnehmung leicht auffällt, so läfst sich andererseits auch für die ganz und beinahe einfach gesehenen Objecte nachweisen, dafs ihr Relief desto genauer erkannt wird, je weniger sie sich vom Horopter entfernen, — abgesehen immer von den oben erwähnten besonderen Täuschungen.

Um dies für die gerade Horopterlinie zu zeigen, nehme man eine dünne gerade Stricknadel und biege sie in der Mitte ganz wenig, so dafs ihre beiden Hälften einen Winkel von etwa 175° mit einander machen. Man halte sie dann vor sich, so dafs beide Schenkel dieses Winkels in der Medianebene des Kopfes liegen, wobei sie für ein Auge, was sich auf dem Nasenrücken des Beobachters befände, ganz gerade erscheinen würde, und auch für jedes der wirklichen Augen die schwache Biegung, in starker perspectivischer Verkürzung gesehen, ganz unmerklich wird. Doch erkennt man unter diesen Umständen, mit beiden Augen zugleich sehend, die Knickung der Nadel, vorausgesetzt dafs diese ungefähr die Richtung der geraden

Horopterlinie hat, und also bei Fixation eines entfernteren oder etwas näheren Punktes in merklich parallelen Doppelbildern erscheint. Man erkennt die Knickung der Nadel aber nicht, wenn man derselben eine andere Richtung in der Medianebene giebt, wobei sie einen erheblichen Winkel mit der geraden Horopterlinie macht.

Für den MÜLLER'schen Horopterkreis habe ich den Versuch in folgender Weise eingerichtet: Auf einen Tisch, nahe über dessen Rande sich meine Augen befanden, legte ich neben einander zwei Brettchen. In das eine wurden neben einander, etwa ein Centimeter von einander entfernt, zwei feine lange Stecknadeln festgesteckt, in das zweite Hölzchen eine Nadel derselben Art. Die Hölzchen wurden so neben einander gelegt, daß die drei Nadeln sich etwa gleich weit vom Beobachter befanden, die beiden äußeren gleich weit von der mittleren entfernt. Ein passender Schirm bewirkte, daß ich nur die Köpfe und den oberen Theil der drei Nadeln sehen konnte, die etwa 50 Centimeter von meinen Augen entfernt waren. Ich untersuchte nun, wie weit ich die seitliche Nadel nach vorn oder hinten verschieben konnte, ehe ich merkte, daß die drei Nadeln nicht mehr in einer Ebene, sondern in einem Bogen standen. Wenn die Verschiebung auch nur eine halbe Nadel-dicke, also etwa ein Viertel Millimeter betrug, merkte ich es schon. Der Winkelunterschied in der Stellung der mittleren Nadel im Verhältniß zu den beiden äußeren betrug hierbei nur 21 Secunden. Um aber eine so große Genauigkeit zu erreichen, mußte die Richtung der Nadelreihe der Richtung entsprechen, die der Horopterkreis an dem betreffenden Orte hatte. Wenn die Nadeln also gerade vor mir, die mittlere in der Medianebene meines Kopfes und die rechte und linke gleich weit von mir entfernt waren, so urtheilte ich mit großer Genauigkeit, ob sie in einer Ebene standen. Befand sich aber die rechte Nadel etwas näher zu mir, die linke ferner, so war ich weit weniger sicher in der Entscheidung, ob sie in einer geraden Linie oder in einem Bogen standen. Befand sich die mittlere Nadel dagegen rechts seitwärts von der Mittelebene meines Kopfes, wo die Richtung des Horopterkreises sich nach rechts hin dem Beobachter nähert, so mußte auch die rechte Nadel mir etwas näher stehen, als die linke, wenn ich die größte Sicherheit in der Beurtheilung des Reliefs der Nadelreihen haben sollte. War die Reihe der Nadeln bei dieser Stellung senkrecht gegen die Blickrichtung, so war die Wahrnehmung, ob sie einen Bogen oder eine gerade Linie bildeten, merklich schwieriger. Am günstigsten war es also immer, wenn die Richtung der Nadelreihe der Richtung der Tangente des Horopterkreises entsprach.¹

Es ist bei diesem Versuche zu bemerken, daß man die Nadeln nicht zu weit auseinander rücken darf, weil sonst die erwähnte Täuschung eintritt, vermöge deren wir einen gegen uns concaven horizontalen Bogen für gerade zu halten geneigt sind. Bei den oben angegebenen Entfernungen der Nadeln

¹ Der Sinn dieses Versuchs ist von Herrn E. HERING in seiner Kritik gänzlich mißverstanden worden.

würde die Tiefe des Bogens, der als gerade Linie erscheint, für die meisten Augen weniger als 0,1 Millimeter betragen, also viel kleiner sein als die wahrnehmbaren Verrückungen.¹ Und auch bei solchen gröfseren Entfernungen der Nadeln, wo die Täuschung sichtbar werden sollte, wird man finden, dafs der Spielraum zwischen den Verschiebungen, welche einen anscheinend concaven und convexen Bogen vortäuschen, sehr viel kleiner ist, wenn die Reihe der Nadeln der Richtung des Horopterkreises sich anschliesst, als wenn sie mit ihr einen Winkel bildet.

Wenn wir geradeaus nach einem Punkt des Horizonts blicken, ist der Horopter eine unterhalb der Visirebene liegende horizontale Ebene, welche bei normalsichtigen Augen meist ganz oder nahehin mit der Fußbodenfläche des stehenden Beobachters zusammenzufallen scheint. Wenn wir einen Punkt in der Medianlinie der Fußbodenebene fixiren, so ist zwar nicht die ganze Ebene Horopter, aber die gerade Horopterlinie liegt auch dann doch ganz in der Fußbodenebene. An der Fußbodenebene beobachte ich nun entsprechende Erscheinungen, welche schliesen lassen, dafs auch in diesem Falle die Beurtheilung des Reliefs der Fußbodenebene besonders genau ist, weil sie Horopterfläche ist. Um dies zu prüfen, betrachte man, auf ebenem Felde stehend, zunächst das Relief der Bodenfläche in gewöhnlicher Weise. Man sieht diese Fläche mit ihren kleinen Wölbungen und Senkungen deutlich horizontal bis in ziemlich grofse Entfernungen. Nun sehe man nach derselben Fläche entweder mit seitwärts geneigtem Kopfe unter dem Arme durch, oder mit abwärts geneigtem Kopfe zwischen den Beinen, wobei man aber auf einen Stein oder Erdhügel steigt, so dafs die Höhe des Kopfes über der horizontalen Fläche nicht merklich geändert wird. Man wird nun die ferneren Theile der Bodenfläche nicht mehr horizontal, sondern wie eine auf die Himmelsfläche gemalte Wand sehen. Ich habe viele solche Beobachtungen auf der von Heidelberg nach Mannheim führenden Strafsse angestellt. Vor mir lag hinter einer Reihe von Feldern der Neckar, der einen Einschnitt in das ebene Terrain macht, jenseits wieder ebenes Land, welches sich etwa eine Meile weit bis an den Ölberg bei Schriesheim ausdehnt. Bei aufrechter Haltung des Kopfes erkannte ich vollkommen gut die weitgedehnte Ebene jenseits des Flusses; bei schräger oder verkehrter Haltung schien das Terrain vom Flusse aus unmittelbar zu dem Ölberg in die Höhe zu steigen. Eine Hecke, die durch ein Stück Feld von einem dahinter liegenden Hause getrennt war, was ebenfalls bei aufrechtem Kopfe deutlich zu sehen war, schien bei schräger Haltung ganz nahe vor dem Hause zu liegen, und so weiter. Auch die kleinen Unebenheiten der Strafsse waren mir bei natürlicher Kopfhaltung viel plastischer.

Alle diese Erscheinungen treten ebenso ein, wenn man, statt den Kopf umzudrehen, das Bild umkehrt. Am vortheilhaftesten sind dazu rechtwinkelige

¹ Dafs ich in meiner früheren Arbeit angegeben habe: ein Bogen, dessen Krümmung etwa der des Horopterkreises entspricht, erscheine gerade, beruhte auf Messungen bei zu kleinen Distanzen der Nadeln; der Bogen ist in der That beträchtlich flacher, als der des Horopterkreises.

Prismen zu verwenden mit horizontal liegender Hypotenusenfläche, durch welche man, wie oben Seite 634 erörtert ist, die vorliegenden Gegenstände verkehrt sieht. Ich klebte zwei solche Prismen in der Entfernung meiner beiden Augen von einander entfernt, auf ein ebenes Brettchen und beobachtete durch sie die Landschaft. Das stereoskopische Relief der Bodenfläche schwand hierbei ebenso, wie beim Sehen zwischen den Füßen durch. Andererseits sieht man durch sie zuweilen das Relief niedrig liegender Wolken besser als mit bloßen Augen, weil die Wolken, durch die Prismen gesehen, in Richtung des Fußbodens zu liegen kommen.

Wenn man endlich mit verkehrtem Kopfe zwischen den Beinen hindurch und gleichzeitig durch die umkehrenden Prismen die Landschaft betrachtet, so hat man wieder das deutliche Relief der Bodenfläche wie beim natürlichen Sehen. In diesem Falle ist das Spiegelbild der Bodenfläche wieder im Horopter der umgekehrten Augen. Dieser letzte Versuch zeigt, daß nicht die ungewöhnliche Stellung des Kopfes an sich, noch die ungewohnte Richtung des Bildes an der mangelhaften Genauigkeit der Tiefenwahrnehmung Schuld sind, sondern die verkehrte Lage des Bildes gegen die Augen.

724 Hiermit stimmt es ferner überein, daß Herr E. HERING,¹ dessen Augen eine sehr geringe Abweichung der scheinbar verticalen Meridiane haben, erklärt, daß er die ferneren Theile der Fußbodenfläche mit zwei Augen nicht anders als bei monocularer Betrachtung sehe.

Wie wesentlich die richtige Wahrnehmung des Reliefs der Bodenfläche beim Gehen ist, ist ersichtlich. Meistens gehen wir vorwärts, ohne die Bodenfläche direct anzusehen, und bleiben doch genügend unterrichtet über die kleinen Unebenheiten ihrer Form. Wie sehr selbst eine ganz kleine scheinbare Verschiebung des Bildes der Bodenfläche stören kann, habe ich neuerdings noch vielfältig erfahren. Wegen eines geringen Grades von Kurzsichtigkeit trug ich bei einer Gebirgsreise eine Concavbrille (Nasenklemmer) mit ganz schwachen Gläsern (36 Zoll Brennweite), um die Fernsichten besser zu sehen. Die Gläser habe ich so abschleifen lassen, daß ihre optischen Centra gleich weit von einander stehen, wie meine Augen, so daß ferne Objecte, durch die Centra der Brille gesehen, keine sichtliche Tiefenverschiebung erleiden, wie dies geschieht, wenn die Centra der Gläser einander zu nahe stehen. Dennoch ist eine kleine Verschiebung der durch die unteren Theile der Gläser gesehenen Objecte da, weil die Axen der beiden Gläser durch die sie verbindende Feder nicht ganz genau parallel gehalten werden, und wenn ich genau auf den Fußboden achte, so scheint dieser dicht vor meinen Füßen eine kleine ansteigende Wölbung zu haben, die von einer falschen stereoskopischen Wirkung der Gläser herrührt. Obgleich dies so schwach ist, daß es nur bei aufmerksamer Betrachtung bemerkt werden kann, macht mir dieser Umstand es unmöglich, die Brille zu gebrauchen, wenn ich schnell steile steinige Gebirgswege hinabgehen will, wo es nöthig ist, den Fuß ganz

¹ E. HERING, *Beiträge zur Physiologie*. Heft 5, S. 355. Daß mir die Fußbodenfläche nicht, wie er aus seiner Theorie schließt, als eine verticale Ebene erscheint, brauche ich wohl kaum zu versichern.

sicher zu setzen, und die Zeit fehlt, jeden Stein, auf den man treten will, einzeln zu betrachten und seine Entfernung zu schätzen. Trotzdem ich durch die Brille die Steine etwas schärfer sehe, als mit bloßen Augen, gehe ich sicherer ohne die Brille. Es war mir dies ein auffallender Beweis für die Genauigkeit und Schnelligkeit, mit der die eingeübte Association zwischen Sinnesempfindungen und Bewegungen eintritt.

Mit der Veränderung des Reliefs bei veränderter Kopfhaltung scheint mir auch die scheinbare Veränderung der Farben der Landschaft zusammenzuhängen, die dabei eintritt. So lange wir ihre Tiefendimensionen deutlich wahrnehmen, sind die Veränderungen der Farben der Objecte durch die zwischengelagerte Luft die natürlichen und gewohnten Attribute der Ferne, die uns daher nicht als solche auffallen. Sobald wir aber die Wirkung des Reliefs zerstören durch Umkehrung des Kopfes oder Umkehrung des Bildes und die Landschaft als ebenes Bild sehen, so wird unsere Aufmerksamkeit auf die Farben hingelenkt. Auch bei monocularer Betrachtung der Landschaft ist noch ein geringer Unterschied da, wenn man erst aufrecht und dann unter dem Arme durchsieht, der mir davon herzurühren scheint, daß der obere Theil der Netzhaut gegen das Grün des Bodens, der untere gegen das Blau des Himmels ermüdet ist, und deshalb die Farben etwas lebhafter werden, wenn sie auf neue Stellen der Netzhaut fallen. Aber dieses eigen- 725
thümliche Heraustreten der Lufttöne an den fernen Objecten finde ich nur bei binocularer Betrachtung recht deutlich. Auch hierfür ist es charakteristisch, daß für Herrn HERING seiner Versicherung nach monoculare und binoculare Betrachtung keinen Unterschied macht.

Der Grund dieser besonderen Genauigkeit des Reliefs im Horopter ist, wie auch E. HERING annimmt, in dem psychophysischen Gesetze von FECHNER zu suchen. Für Gegenstände im Horopter sind die scheinbaren Entfernungen vom Fixationspunkte gleich; die kleinsten Abweichungen von der Gleichheit dieses Verhältnisses erkennen wir leicht und genau. Einer solchen entspricht eine Abweichung des betreffenden Objectpunkts vom Horopter. Wenn dagegen die Form von Objecten beurtheilt werden soll, welche nicht im Horopter liegen, so kommt es auf die Verhältnisse zwischen den Distanzen der Doppelbilder ihrer verschiedenen Punkte an und nicht mehr bloß auf die Existenz eines Unterschiedes zwischen beiden Bildern. Correspondirende Netzhautpunkte sind nach unserer Ansicht solche, deren gegenseitige Lage in der Erfahrung am häufigsten verglichen worden ist, nach der anatomischen Hypothese solche, welche einen natürlichen Zusammenhang in ihrer Localisation haben. Durch beide Voraussetzungen erklärt es sich, daß die Vergleichung correspondirender oder nahehin correspondirender Netzhautbilder besser und sicherer geschieht als die von disparaten.

Wir pflegen deshalb auch unwillkürlich Objecte, die wir genau und bequem sehen wollen, möglichst in den Horopter zu bringen. Wenn man bei möglichst bequemer Haltung des Buches, in dem man liest, schwach divergirende Doppelbilder der verticalen Linien bildet, findet man sie einander

parallel, die verticale Horopterlinie fällt also in die Ebene des Papiers. Für solche Augen, die der Betrachtung ferner Objecte angepaßt sind, stehen dann allerdings die horizontalen Linien des Papiers nicht im Horopter. Es mag das der Grund sein, warum in der Form der europäischen Buchstaben verticale Linien so auffallend bevorzugt sind gegen die horizontalen.

Die zweite Art der Vergleichung der beiderseitigen Sehfelder ist die, wobei wir die scheinbare Vertheilung der Objecte im gemeinschaftlichen Gesichtsfelde beachten und die Doppelbilder wahrzunehmen suchen. Ich habe schon oben angeführt, daß die Erkennung der Doppelbilder im Allgemeinen nur in der Mitte der Sehfelder gut geschieht und in deren peripherischen Theilen sehr grobe Ungenauigkeiten zeigt. Der wichtigste Umstand aber, welcher die Wahrnehmungen der verschiedenen Lage zweier Halbbilder eines und desselben Objectes verhindert, ist die Vorstellung von der Einheit dieses ihres Objectes. Wenn, wie wir wahrscheinlich zu machen gesucht haben, die Abmessungen der Sehfelder auf einer eingeübten Schätzung durch das Augenmaafs beruhen, so beruht auch die Wahrnehmung der Doppelbilder auf Augenmaafs und kann wie alle Schätzungen durch Augenmaafs außerordentlich weit irre geführt werden durch allerlei psychische Einflüsse, namentlich durch solche, welche uns die, sei es wahre, sei es falsche Vorstellung aufdrängen, daß die beiden Bilder einem und demselben Objecte angehören. Am schwersten bemerken wir daher die Verschiedenheit der beiden Bilder wirklicher körperlicher Objecte, wenn dieselbe nicht sehr groß und auffallend ist; daher denn auch die meisten Laien das Phänomen der Doppelbilder gar nicht kennen, obgleich sie solche fast fortdauernd in ihrem Gesichtsfelde gehabt haben müssen. Schwer trennen wir auch Doppelbilder von Linien gleicher Färbung und Helligkeit, wenn dieselben so gezogen sind, daß ihre Deutung als Bilder einer und derselben objectiven Linie sehr nahe liegt. Am meisten erschwert aber wird die Wahrnehmung der Doppelbilder durch die Augenbewegungen. Bei der Betrachtung eines Objectes fixiren wir nach einander verschiedene Punkte seiner Oberfläche, sodafs die Netzhautgruben fortdauernd von correspondirenden Bildern getroffen werden. Diese Theile der Bilder werden zugleich am deutlichsten wahrgenommen und fesseln unsere Aufmerksamkeit am meisten. So wie unsere Aufmerksamkeit sich einem seitlich gelegenen Punkte des Objectes zuzuwenden beginnt, welcher vielleicht in Doppelbildern erscheint, so gleiten unsere Augen fast unwillkürlich zu seiner Fixation über, was wir nur durch besonders dahin gerichtete Aufmerksamkeit und Willensanstrengung hindern können.

726 Will man also Doppelbilder möglichst gut erkennen, so muß man erstens Augenbewegungen vermeiden und einen bestimmten, wohl bezeichneten Fixationspunkt festhalten. Zweitens ist es vortheilhaft, den zu unterscheidenden Bildern verschiedene Farbe oder Helligkeit zu geben, was ihre Deutung als Bilder desselben Objectes erschwert oder unmöglich macht. Drittens kann man oft allerlei andere Ungleichheiten der Bilder durch theilweise Verdeckung, durch Hinzufügung ungleicher Merkmale hervorbringen, um die

Aufmerksamkeit des Beobachters auf ihre Verschiedenheit hinzulenken, und dadurch die Unterscheidung der Doppelbilder zu einer ziemlich großen Feinheit treiben.

Methoden, mittels deren man den genannten Schwierigkeiten aus dem Wege gehen und möglichst genaue Vergleichen der scheinbar gleichen Abmessungen in beiden Sehfeldern erhalten kann, sind oben bei der Aufgabe, die Lage der correspondirenden Punkte und Linien zu suchen, beschrieben worden. Aber auch wenn man die besten Methoden anwendet, ist die Vergleichung correspondirender Raumgrößen der beiden Gesichtsfelder merklich unvollkommener, als die entsprechender Raumgrößen in demselben Felde.

Um bestimmte Zahlen hierfür zu gewinnen, sind die oben beschriebenen Versuche von VOLKMANN sehr geeignet. Bei denen, welche nach dem Schema der *Fig. 245* angestellt und auf Seite 853 beschrieben sind, verglich er die verticalen Abstände zwischen je zwei Paaren von Horizontallinien, von denen das eine Paar im rechten Sehfelde rechts von der Mittellinie, das andere im linken Sehfelde links von der Mittellinie lag. Im gemeinschaftlichen Gesichtsfelde schienen beide Paare in der Mittellinie zusammenzustossen. Das eine Paar der Linien hatte einen festen Abstand von 5,5 Millimeter von einander. Im Mittel von je 30 Beobachtungen solcher Art, wobei VOLKMANN den Abstand des zweiten beweglichen Paares dem des andern gleich zu machen versuchte, gewann er zwar sehr gut stimmende Mittelwerthe, die nur um 0,01 und 0,03 Millimeter von dem richtigen Werthe abwichen. Sieht man aber die einzelnen Beobachtungen an, so findet man, daß er in der ersten Reihe (bewegliche Horizontale rechts) einmal den Abstand 6,0, und dann wieder 5,0 mit 5,5 für identisch hielt, und in der zweiten Reihe kommt wieder 5,0 und 5,85 unter den Einzelbeobachtungen vor. In anderen Reihen, wo die Linien vertical gezogen waren, kommt 5,55 und 4,75 vor als gleich mit 5,2, und dann wieder 5,55 und 4,85 als gleich mit 5,2. 727

Es würde nun allerdings ganz unmöglich sein, wenn man die beiden Linienpaare in demselben Sehfelde neben einander liegend und an einander anstossend erblickte, so große Fehler zu machen. Die Schwierigkeit bei der binocularen Vergleichung scheint mir hauptsächlich ihren Grund darin zu finden, daß die Fixation schwer ganz fest gehalten wird, und die beiden Sehfelder deshalb fortdauernde kleine Schwankungen in Bezug auf die Art, wie sie sich decken, zu machen pflegen. Um dies zu prüfen, habe ich auf ein Papierblatt zwei parallele Linien in 5,5 Millimeter Abstand gezeichnet, die bis zum Rande reichen, auf einem zweiten zwei schwach convergirende, die am einen Ende 4,5, am andern 6,5 Millimeter von einander entfernt sind, und nun das erste Blatt auf das zweite gelegt, so daß das convergirende Linienpaar zum Theil sichtbar bleibt und als Fortsetzung des parallelen Paares erscheint. Während ich nun das obere Blatt fortdauernd ein wenig hin und herbewegte und dadurch die Schwankungen der Sehfelder nach-

machte, suchte ich mit einem Auge zu ermitteln, ob die convergirenden Linien, wo sie am Rande des Papierblatts hervorkommen, gleich weit von einander abstanden, wie die parallelen. Hierbei wurden also beide Linienpaare in demselben Gesichtsfelde gesehen und durch die Bewegungen des einen Paares das Schwanken der Augenaxen bei der binocularen Betrachtung nachgemacht. Andererseits konnte ich das convergente Linienpaar mit einem weissen Papierblatt theilweise verdecken und es dann, soweit es sichtbar war, wie bei den Versuchen von VOLKMANN binocular zur Berührung mit dem Paar paralleler Linien bringen, so dass im gemeinschaftlichen Gesichtsfelde beide Paare an einander stiefsen und das eine als Fortsetzung des andern erschien. Diese Methode ist noch etwas vortheilhafter, als VOLKMANN'S, bei dem je eine Linie jedes Paares ganz ausgezogen war und sich mit der correspondirenden deckte, während bei meinen Versuchen, wie bei dem auf Seite 859 beschriebenen und nach dem Schema der *Fig. 247* angestellten Versuche, gar keine Deckung, sondern nur scheinbare Fortsetzung je zweier Linien vorkam. Abweichungen in den Abständen beider Linienpaare von $\frac{1}{2}$ Millimeter wurden immer gleich erkannt, solche von $\frac{1}{4}$ Millimeter kaum übersehen. Dabei stellte sich heraus, dass ich die binoculare Vergleichung der correspondirenden Abstände ziemlich eben so gut vollzog, als die monoculare derselben Abstände in dem gleichen Sehfelde, wenn ich im letzteren Falle durch fortdauerndes Hin- und Herbewegen der einen Zeichnung das Schwanken der beiden Sehfelder gegen einander nachahmte.

Auffallend gross sind auch die einzelnen Fehler in den Versuchen, wo VOLKMANN die Richtung einer Linie in einem Sehfelde mit der einer anderen im anderen Sehfelde verglich. Es kommen hierbei Abweichungen vom Mittel im Betrage eines halben Grades sehr häufig, solche bis zu einem Grade zuweilen vor. Zwei Linien aber, die im monocularen Sehfelde unter einem Winkel von 179 Grad zusammenstossen, für eine gerade Linie zu halten, ist ganz unmöglich, und kaum wird man bei solchen, die unter $179\frac{1}{2}$ Grad zusammenstossen, die Abweichung übersehen. Noch weniger wäre es möglich, im monocularen Felde zwei nahe neben einander hinlaufende gerade Linien, die eine Neigung von einem ganzen oder halben Grade gegen einander haben, für parallel zu halten. Dass nun solche Abweichungen bei Vergleichung beider Sehfelder übersehen werden, scheint mir nur erklärlich zu sein aus den Schwankungen in der Grösse der Raddrehungen beider Augen, die man, wie ich oben bemerkt habe, auch mittels der Nachbilder wahrnehmen kann. Dass trotz dieser Schwankungen in den einzelnen Versuchen doch die Mittelzahlen vieler Versuche ein recht genaues Resultat geben können, braucht nicht aufzufallen.

Die sehr viel grössere Genauigkeit, welche bei der Beurtheilung der Tiefendimensionen wirklicher Objecte erreicht wird, möchte ich demnach wohl größtentheils aus dem Umstande erklären, dass wir ausserordentlich viel besser eingeübt sind, an den Contouren eines binocular gesehenen Gegenstandes von bekannter Körperform mit den Blicklinien entlang zu laufen,

als eine unveränderliche Fixation bei ungleichen Bildern beider Netzhäute festzuhalten.

Ich muß in dieser Beziehung auf eine Thatsache aufmerksam machen, die ich oft beobachtet habe. Wenn ich eine schwer zu combinirende stereoskopische Zeichnung vor Augen habe, so gelingt es nur mühsam zu einander gehörige Linien und Punkte zur Deckung zu bringen, und bei jeder Augenbewegung gleiten sie wieder aus einander. So wie ich aber ein lebhaftes Anschauungsbild von der dargestellten körperlichen Form gewonnen habe, was oft wie durch einen glücklichen Einfall plötzlich auftritt, so gleite ich mit vollster Sicherheit mit beiden Augen über die Figur hin, ohne daß ihre Bilder sich wieder trennen. Mit dem Anschauungsbilde der Körperform ist auch die Regel für die Art der Bewegung der Blicklinien bei der Betrachtung des Körpers gegeben, ja es kann, wie ich glaube, mit Recht die Frage aufgeworfen werden, ob denn das Gesichtsanschauungsbild einer Körperform überhaupt einen anderen reellen Inhalt hat, als den, diese Regel für die Bewegungen der Augen zu sein. Wenigstens müssen wir diese Frage verneinen, wenn wir die Ausmessung der Sehfelder aus den bei den Augenbewegungen gemachten Erfahrungen herleiten.

Wir wollen uns jetzt zur Untersuchung derjenigen Umstände wenden, durch welche die Genauigkeit in der Vergleichung beider Sehfelder beschränkt wird, wo also theils Bilder, die auf nicht correspondirenden Punkten beider Netzhäute abgebildet sind, zusammenfallen, theils solche, die auf correspondirenden abgebildet sind, verschiedene Stellung im Gesichtsfelde einzunehmen scheinen.

Der Hauptgrund für die Verschmelzung der Bilder disparater Netzhautpunkte ist die Ähnlichkeit, welche sie mit den beiden perspectivischen Bildern eines und desselben Objects haben. Je vollkommener eine solche Ähnlichkeit ist, desto schwerer wird es uns, uns loszumachen von der Vorstellung des einen räumlichen Objects und die Anordnung und gegenseitige Entfernung der einzelnen gesehenen Linien und Punkte im Sehfelde unabhängig von jener Anschauung zu vergleichen.

Betrachten wir zum Beispiel die beiden senkrechten Linienpaare der *Fig. E, Taf. IV*, so daß wir die rechte Linie des rechten Paares mit dem rechten, die rechte Linie des linken Paares mit dem linken Auge fixiren, so erscheinen uns in dem Gesamtbilde zwei Linien, von denen die rechte etwas tiefer zurückliegt, als die linke. Die beiden Bilder der linken Linie können dabei nicht auf correspondirende Netzhautstellen fallen, weil die beiden Linien des rechten Paares 3,5 Millimeter von einander entfernt sind, die des linken nur 2,7, also 0,8 Millimeter weniger. Dessen ungeachtet finde ich es fast unmöglich, zu erkennen, daß die eine oder andere der beiden scheinbar schräg hinter einander stehenden Linien in einem Doppelbilde erscheint. Nur bei sehr anhaltend strenger Fixation der einen Linie sehe ich Andeutungen davon auftauchen. Es wird vielleicht einzelne Beobachter geben, welche auch in diesem Falle die Doppelbilder leicht sehen,

andere, denen es gar nicht gelingt; denn es zeigen sich in dieser Beziehung sehr große individuelle Unterschiede.

Bei den beiden Linienpaaren *H Taf. IV* ist der Unterschied der Entfernungen größer (3,7 und 7 Millimeter, Unterschied 3,3 Millimeter). Bringe ich sie zur Deckung, so gelingt es mir, auch diese als ein weit hinter einander liegendes Linienpaar zu sehen, aber die Doppelbilder der einen oder auch wohl beider Linien verschwinden mir dabei niemals ganz, weil ihr Abstand jetzt verhältnißmäßig zu groß ist.

In der *Fig. J* haben die beiden senkrechten Linienpaare ebenfalls ziemlich verschiedene Abstände (6,7 und 9,2 Millimeter, Unterschied 2,5 Millimeter), doch ist der Unterschied ihrer Abstände geringer, als in den Linienpaaren *H*, und durch die oberen und unteren Begrenzungslinien, welche das perspectivische Bild einer rechteckigen Tafel herstellen, ist die Verschmelzung erleichtert. Bei dieser Figur ist für mich der Unterschied gerade hinreichend, daß ich leicht und vollständig die stereoskopische Vereinigung vollziehe, und andererseits doch auch mit geringer Anstrengung der Aufmerksamkeit die vorhandenen Doppelbilder erkennen kann. Fixire ich im letzteren Falle eine der senkrechten Linien, so erscheint mir die andere im Doppelbilde, und zwar sehe ich die kürzere rechte Linie des Gesamtbildes leichter doppelt als die längere linke. Fixire ich die rechte Linie des Gesamtbildes und vermehre ganz langsam die Convergenz der Augen, indem ich sehr vorsichtig und leise die betreffende Muskelanstrengung die ich aus langer, Übung kenne, eintreten lasse, so kann ich die rechte Linie des Gesamtbildes in Doppelbilder von sehr geringem Abstand (etwa 1 bis $1\frac{1}{2}$ Millimeter) aus einander treiben, wobei auch die linke Verticale in Doppelbildern erscheinen muß, was mir auch für Augenblicke zu erkennen gelingt. Doch ist es sehr schwer, eine solche Augenstellung ohne bestimmtes Fixationsobject für einige Zeit festzuhalten, und das fortdauernde Schwanken der Blicklinien verräth sich durch das entsprechende Schwanken des Abstandes der beiden Doppelbilder der rechten Linie. Leichter gelingt es mir, an der *Fig. H* den Blick so festzuhalten, daß das linke Linienpaar ganz innerhalb des rechten erscheint und alle vier Linien einzeln gesehen werden.

Hat der Beobachter also seine Augenbewegungen hinreichend in seiner Gewalt, so kann er die beiden Bilder willkürlich in jeder beliebigen Lage zum Decken bringen und auch im Allgemeinen in jeder Lage die Doppelbilder erkennen, vorausgesetzt, daß diese nicht allzu nahe neben einander liegen.

Ich bin mir auch wohl bewußt, welche Art von Willensintention ich anwenden muß, um die Doppelbilder entweder zu sehen, oder nicht zu sehen. Will ich sie nicht sehen, so suche ich durch den Blick abzumessen, wie viel die rechte Linie der *Fig. E, H* oder *J* mehr von mir entfernt ist, als die linke, ich wende also meine Aufmerksamkeit den Tiefendimensionen zu. Will ich die Doppelbilder sehen, so suche ich zu beurtheilen, welche Form das Gesamtbild als gezeichnete Figur in der Ebene des Papiers hat, wie

groß etwa der horizontale Abstand der verticalen Linien nach der Ebene des Papiers gemessen sei, und ähnliches. Es erscheint mir dies durchaus als ein ähnlicher Unterschied, wie er bei der Beurtheilung der Form der Flächen eines Cubus zum Beispiel vorkommt, den ich in irgend einer schrägen Stellung vor mir habe. Ich kann mir den Cubus einmal darauf ansehen, ob seine Flächen wirklich rechtwinkelig seien, und seine Kanten gleich lang, was sich bis zu einem gewissen Grade der Genauigkeit ja auch bei einer schiefen Ansicht desselben erkennen läßt. Oder ich kann den Cubus zeichnen wollen und mir seine Flächen darauf ansehen, wie sie als Parallelogramme im Sehfelde erscheinen. Dann werde ich darauf achten, um wie viel größer der stumpf erscheinende Winkel aussehe, als die spitz erscheinenden, wie viel größer die eine Diagonale seiner Flächen erscheint als die andere, und so fort. Mit beiden Anschauungsweisen kann ich nach Willkür wechseln. Sind die Flächen perspectivisch sehr verzogen, so werde ich, während ich deutlich wahrnehme, daß die Winkel der Begrenzungsflächen alle gleich und alle Rechte sind, doch nicht ganz übersehen können, daß die drei um eine Ecke herum gelagerten Rechten im Bilde gleich vier Rechten erscheinen, und überhaupt, daß die verschiedenen rechten Winkel verschieden groß erscheinen. Wenn aber die Ansicht nur wenig schief ist, werde ich vielleicht auch bei der größten Aufmerksamkeit und Übung nicht erkennen können, daß die Winkel im Sehfelde verschieden groß erscheinen; so zum Beispiel, wenn mein Auge sich in der Verlängerung einer der Kanten befindet, und ich also überhaupt nur eine Fläche des Cubus und diese mit geringer Neigung gegen die Blicklinie vor mir habe. Überhaupt sind wir viel mehr geübt, die wahre körperliche Form, als die Erscheinung im Gesichtsfelde richtig abzuschätzen, worin eine Hauptschwierigkeit des Zeichnens nach Körpern besteht.

Genau so verhält es sich mit den Tiefenanschauungen im Gesichtsfelde und mit den Doppelbildern. Ich wende meine Aufmerksamkeit den Tiefendimensionen zu; dann sind die verschiedenen Entfernungen entsprechender Bildpunkte in den beiden Netzhautbildern das erfahrungsmäßige sinnliche Zeichen für ein und dieselbe räumliche Dimension des äußern Objects, und ihre Verschiedenheit drängt sich der Aufmerksamkeit des Beobachters nur dann auf, wenn sie sehr groß ist; wie die scheinbar rhomboidische Gestalt der Flächen des Würfels nicht ganz vergessen werden kann, trotz der richtigen gleichzeitigen Wahrnehmung ihrer wirklichen quadratischen Gestalt, wenn die perspectivischen Verziehungen sehr groß sind.

Dann aber wieder kann ich meine Aufmerksamkeit der Erscheinung im Gesichtsfelde zuwenden, und werde nun Verschiedenheiten der beiden Bilder 731 bemerken können, die ich vorher übersah; dabei wird sich aber die Wahrnehmung der Tiefendimension ebenso aufdrängen können und mich verleiten, sehr kleine Verschiedenheiten der beiden Ansichten des Körpers zu übersehen, wie die Wahrnehmung der wirklichen Gestalt des Würfels mich vollständig hindern kann, sehr kleine perspectivische Verziehungen seiner Flächen

zu erkennen. Im einen, wie im andern Falle handelt es sich darum, die Verschiedenheit gewisser Raumgrößen im Gesichtsfelde zu erkennen, welche wir erfahrungsmäßig als den sinnlichen Ausdruck gleicher Größen im objectiven Raume kennen, nur daß einmal die beiden zu vergleichenden Größen in den beiden verschiedenen Sehfeldern liegen, im andern Falle beide in demselben Gesichtsfelde.

Wenn ich übrigens in den *Fig. H* und *J* die Tiefendimensionen zur Anschauung zu bringen suche, so gelingt dies am besten, wenn ich den Blick vom einen zum andern Ende der Tiefendistanz wandern lasse. Aber es gelingt auch, wenn gleich weniger lebhaft bei festgehaltenem Blicke, und zwar finde ich an den von Zeit zu Zeit auftauchenden Doppelbildern, daß ich dann so fixire, daß die Mitte der linken Figur auf die Mitte der rechten fällt und beide Verticallinien des Gesamtbildes in Doppelbildern erscheinen. Es ist dies die Stellung, welche die geringsten Distanzen sämtlicher Doppelbilder giebt.

Übrigens wird das Sehen der Doppelbilder erleichtert, wenn man irgend welche, oft selbst sehr unbedeutende Incongruenzen in den beiden zu vereinigenden Bildern anbringt, welche der Deutung, als gehörten sie beide ein und demselben räumlichen Objecte an, widersprechen. So braucht man, wie VOLKSMANN gezeigt hat, in der *Fig. E* nur eine Hälfte einer der Linien mit einem weißen Blatte zu verdecken, oder zwei Horizontallinien in verschiedener Höhe in den Zwischenräumen der beiden Paare von Verticallinien zu ziehen, so daß sich *H*ähnliche Figuren bilden, deren Querstriche aber verschieden hoch liegen. Oder man mache, wie in *Fig. P, Taf. VI* das eine Linienpaar schwarz auf weißem Grunde, das andere weiß auf schwarzem Grunde, wodurch die stereoskopische Vereinigung erschwert, wenn auch nicht unmöglich gemacht wird. In *Fig. G, Taf. IV* sind die Linienpaare der *Fig. E* copirt und nur zwei Punkte hinzugefügt, welche gleiche Entfernung von der links liegenden Linie jedes Paares haben, wobei aber der eine innerhalb, der andere außerhalb der rechten Linie fällt. Vereinigt man die beiden Punkte, indem man sie fixirt, so erscheinen die daneben liegenden beiden Linien sogleich getrennt, denn da die eine rechts, die andere links von dem fixirten Punkte sich befindet, so ist dies ein viel auffallenderer Unterschied, als wenn sie beide an derselben Seite des Fixationspunktes, und nur verschieden weit entfernt lägen. Aber auch, wenn man nicht den Punkt, sondern die linke Linie des Gesamtbildes fixirt, erscheint der Punkt einfach, während die scheinbar hinter ihm durchgehende rechte Linie jetzt ziemlich leicht als doppelt erkannt wird. Es drängt sich hier die Wahrnehmung auf, daß die rechte Linie der linken ein Mal näher als der Punkt erscheint, und ein Mal ferner, und wir erkennen nun, daß der Punkt beide Male gleich weit von der linken Linie entfernt ist, die rechte Linie aber ungleich weit. Dabei tritt durch eine Art Contrastwirkung der Punkt, der in der Ebene des Papiers erscheinen sollte, vor dieselbe hinaus, als wäre er im rechten Bilde der linken Linie etwas näher, im linken ferner.

Die Verschmelzung kann auch erfolgen zwischen Punkten, die etwas verschiedene Höhe über oder unter dem Netzauthorizonte haben, z. B. wenn man die beiden Linienpaare der *Fig. F, Taf. IV* zum Decken bringt, von denen das linke 3, das rechte 3,7 Millimeter Abstand hat. Bei der Betrachtung reeller Objecte findet dieser Fall seine Analogie, wenn man zwei Horizontallinien, die seitlich von der Medianebene gelegen sind, vor Augen hat. Diese sind dann dem einen Auge näher als dem anderen, und ihr Abstand erscheint ersterem größer als letzterem. Aber die Unterschiede in den verticalen Abständen, welche bei der Betrachtung reeller Objecte vorkommen, pflegen verhältnißmäßig klein zu sein gegen diejenigen, welche zwischen den horizontalen Abständen vorkommen. Damit scheint es zusammenzuhängen, daß nur solche Bilder verschmelzen, deren verticale Dimensionen sehr geringe Verschiedenheit haben. Auch löst sich die Verschmelzung dieser Linienpaare *F* sowohl, als auch selbst solcher, deren Abstände noch viel weniger verschieden sind, ziemlich bald bei anhaltender fester Fixirung.

Es ist ferner hervorzuheben, daß nicht bloß auf den seitlich von der Netzhautgrube gelegenen Theilen der Netzhäute disparate Bilder verschmelzen können, sondern selbst solche, die dicht bei und auf dem Centrum der Netzhautgrube liegen. Wenn ich die beiden Kreuze der *Fig. L, Taf. V* zum Decken bringe und den Mittelpunkt des Gesamtbildes fixire, müssen die beiden nach rechts von den Kreuzen gelegenen Verticallinien in eine scheinbar continuirlich fortlaufende Linie verschmelzen. Das ist auch der Fall, wenn ich sehr sorgfältig und genau die Mitte des Kreuzes fixire, aber durchaus nicht immer, wenn ich auf das Fixiren nicht besonders achte; sondern bald scheint die obere, bald die untere Verticallinie weiter vom Kreuze entfernt zu sein, so daß der gegenseitige Abstand der beiden halben Verticallinien wohl bis zu einem Millimeter oder selbst mehr beträgt, ohne daß dabei erkennbare Doppelbilder der Verticalen des Kreuzes auftreten. Betrachte ich zuerst das Blatt selbst, also in Convergenzstellung, und treibe nun die Augen aus einander, bis die Kreuze auf einander fallen, so bleibt der obere Theil der seitlichen Verticalen, der dem rechten Bilde angehört, gewöhnlich der entferntere. Es bleibt also etwas zu viel Convergenz der Augenstellung bestehen. Aber ich kann absichtlich auch die Augen noch etwas weiter aus einander treiben (was für mich immer noch Convergenzstellung ist, da der Abstand meiner Augen 66 Millimeter und der der Zeichnungen nur 63,5 beträgt); dann tritt die obere Hälfte der Verticallinie dem Kreuze näher als die untere. In diesem Falle verrathen die Schwankungen der leicht vergleichbaren seitlichen Verticallinien, daß Schwankungen der Augenstellung da sind, die sich nicht durch Doppelbilder der scheinbar fixirten Verticallinie des Kreuzes verrathen. Es ist dies ein Umstand, der bei Versuchen über Doppelbilder wohl zu beachten ist. Man darf nicht glauben, daß bei gewöhnlicher, nicht sehr genauer Fixation eines Punktes dieser immer auf genau correspondirenden Punkten der Netzhautcentren

abgebildet ist. So finde ich auch, daß ich die Figuren *E* und *F* immer so fixire, daß das engere Linienpaar ganz innerhalb des weiteren fällt. Um dies zu sehen, brauche ich nur von einem Ende her die Hälfte des einen Linienpaares mit einem weißen Blatte zu verdecken,

Ich hatte eine ähnliche Figur wie *L* erst gebrauchen wollen, um die Größe der correspondirenden Strecken auf der Horizontallinie zu bestimmen, fand sie aber für mich dazu ganz unbrauchbar, weil die Verticale des Kreuzes mir auch bei ziemlich großen Verschiebungen der seitlichen Verticalen immer noch einfach erschien. Dagegen gelang der Versuch viel besser, wenn ich auch von der Verticale des Kreuzes in der einen Figur die obere, in der andern die untere Hälfte wegließ.

Es kann auch eine Verticale des einen Bildes mit zwei ihr nahestehenden correspondirenden des andern verschmelzen. In *Fig. T, Taf. VII* sind links zwei, rechts drei Linien. Bringt man die rechts liegende Linie beider Gruppen zum genauen Decken, so fällt das Bild der einen linken Linie der linken Gruppe mitten zwischen die beiden linken Linien der rechten Gruppe hinein und verschmilzt mit diesen. Es entsteht dabei der Eindruck eines Gesamtbildes von drei Linien, deren äußerste linke dem Beobachter näher, die dicht daneben liegende zweite dem Beobachter ferner ist, als die rechte Linie. Die drei Linien scheinen ein rechtwinkeliges Prisma zu begrenzen; sie sind auch der richtige optische Ausdruck eines solchen, dessen eine Fläche verlängert durch das linke Auge des Beobachters geht. Um zu erkennen, wo das Bild der einfachen linken Linie liegt, ist deren Mitte mit einem stärkeren Punkte bezeichnet. Fixire ich die rechte Linie des Gesamtbildes, so fällt dieser Punkt bald auf die eine, bald auf die andere Linie des entsprechenden Linienpaares, bald mitten hinein. Das verräth Schwankungen der Convergenz.

So kann auch ein Kreis mit einem anderen verschmelzen, der etwas größer oder etwas kleiner ist, wie die Kreise der *Fig. R, Taf. VII*. Es entspricht das dem reellen Falle, wo der Beobachter einen seitlich von seiner Medianebene gelegenen Kreis (oder Kugel) betrachtet, der dem einen Auge näher ist, als dem anderen. Dabei sind die vertical verlaufenden Theile beider Kreise leicht und ziemlich dauernd zu verschmelzen, die horizontal verlaufenden Bogenstücke trennen sich dagegen leicht, wenn der Unterschied der Radien beider Kreise nicht relativ sehr klein ist. Der Fixationspunkt ist dabei im Centrum des Gesamtbildes angenommen. Zu beachten ist bei diesem Versuche, daß ich mich dabei ertappte, wie ich, ohne es zu wissen, den Kopf nach der Seite des größeren Kreises hingewendet hatte, wodurch die scheinbare Größe beider Kreise nahestehend gleich wurde. Da gelang natürlich die Verschmelzung sehr viel vollständiger. Wenn man dagegen einen Kreis mit zwei anderen zu verschmelzen sucht, von denen der eine etwas kleiner, der andere etwas größer ist, als jener, wie in *Fig. S, Taf. VII*, so findet die Verschmelzung an den nahe senkrecht verlaufenden Theilen der Kreise allerdings statt, und zwar meist so, daß der einfache Kreis an

einer Seite mit dem größeren, an der anderen Seite mit dem kleineren zusammenfällt. Oben und unten dagegen trennen sich die Kreise und man sieht Bogen des einfachen Kreises vom großen zum kleinen hinüberlaufen. Man sieht also im Gesamtbilde zwei Kreise, zwischen denen oben und unten allerdings in einer gewissen verwirrten und nicht recht deutlichen Weise noch je ein verbindender Bogen herüberläuft. Der innere Kreis erscheint rechts hinter, links vor dem äußeren zu liegen, vermöge einer ähnlichen stereoskopischen Wirkung wie bei den Verticalen der *Fig. T, Taf. VII.* Auch hier tritt die Verschmelzung ein, soweit in den combinirten Zeichnungen eine Ähnlichkeit mit reellen Objecten gefunden werden kann; wo diese fehlt, trennen sie sich. 734

VOLKMANN¹ hat eine Reihe von Messungen angestellt über die Grenzwerte der Differenzen, die beim stereoskopischen Sehen noch verschwinden können. Er blickte mittels eines Stereoskops nach zwei Paaren von je zwei schwarzen Linien auf weißem Grunde, die wir *ab* und *cd* nennen wollen. Eine dieser Linien *d* war ein Menschenhaar, in einem Schieber ausgespannt und mit diesem verschiebbar. Der Schieber wurde anfänglich so gestellt, daß die Linie *a* mit *c* und *b* mit *d* sich stereoskopisch vereinigte, dann wurde die bewegliche Linie *d* ihrer Nachbarin *c* so lange entweder genähert oder von ihr entfernt, bis sie sich von der mit ihr stereoskopisch vereinigten Linie *b* des andern Paares trennte. Der durch die Linsen des Stereoskops veränderte Gesichtswinkel war so groß, als würden die Linien aus 150 Millimeter Distanz betrachtet.

Wenn auch der Beobachter bei diesen Versuchen die Aufgabe hatte, die eine Linie des Gesamtbildes fest zu fixiren, so glaube ich nach meinen oben beschriebenen Erfahrungen doch annehmen zu dürfen, daß er in Wahrheit die Augen so gestellt hat, daß beide Linien in nahe gleich weit von einander entfernten Doppelbildern gesehen worden wären, falls er die letzteren hätte unterscheiden können, so daß die wahren Abstände der verschmelzenden Doppelbilder nur etwa halb so groß, oder etwas mehr als halb so groß sein möchten, als die Differenzen der beiden verglichenen Abstände.

Ich lasse hier (Anfang der folgenden Seite) eine Übersicht von VOLKMANN's Resultaten folgen, deren jedes einzelne das Mittel aus 15 Beobachtungen ist. Die Werthe der Distanz *cd* sind die äußersten, welche mit *ab* zu vereinigen waren, die Längen sind in Millimetern angegeben.

Es zeigt sich in diesen Beobachtungen eine beträchtliche individuelle Verschiedenheit für verschiedene Beobachter, und auch bei demselben Beobachter für verschiedene Grade der Übung. 735

Für Herrn VOLKMANN selbst wurden nämlich, wie die Zahlen ergeben, die Doppelbilder eher sichtbar, nachdem er zwei Monate lang ähnliche Versuche fortdauernd angestellt hatte. Daß für ihn überhaupt die Doppelbilder

¹ A. W. VOLKMANN, *Archiv für Ophthalmologie.* V, 2, S. 32—59.

Nr.	Beobachter	ab	cd	$ab - cd$	Bemerkungen.
1	VOLKMANN	5,3	3,46 7,57	+ 1,84 - 2,27	Linien vertical
2	"	5,3	4,52 6,62	+ 0,78 - 1,32	ebenso, zwei Monate später
3	"	1,5	0,91 3,25	+ 0,59 - 1,75	ebenso
4	"	8,0	5,91 10,99	+ 2,09 - 2,99	ebenso
5	"	5,3	4,88 6,05	+ 0,42 - 0,75	Linien horizontal
6	"	1,5	1,15 1,97	+ 0,45 - 0,47	ebenso
7	"	8,3	7,26 9,01	+ 1,04 - 0,71	ebenso
8	SOLGER	5,3	2,13 10,00	+ 3,17 - 4,70	Linien vertical
9	"	5,3	4,66 5,91	+ 0,64 - 0,61	Linien horizontal
10	KRAUSE	5,3	3,21 8,48	+ 2,09 - 3,18	Linien vertical
11	"	5,3	4,92 5,86	+ 0,38 - 0,56	Linien horizontal

bei kleineren Unterschieden der Bilder schon sichtbar wurden, als für die beiden anderen Beobachter, mag sich ebenfalls daraus erklären, daß er von Anfang in physiologisch-optischen Beobachtungen viel geübter war; doch ist auch wohl anzunehmen, daß überhaupt die Geschicklichkeit im Augenmaas bei verschiedenen Anwendungen desselben beträchtliche individuelle Verschiedenheiten zeigen wird. Die Zahlen zeigen ferner, daß, wie schon oben erwähnt worden ist, verticale Abweichungen in den beiden Gesichtsfeldern zwischen horizontalen Linien viel leichter erkannt werden, als horizontale; die letzteren zeigen auch eine geringere Breite individueller Abweichung. Wenn man dabei berücksichtigt, daß wahrscheinlich nur die halbe Breite der angegebenen Differenzen zu nehmen ist, daß davon noch die Breite der Linien selbst mit etwa $\frac{1}{10}$ Millimeter abgeht, daß endlich der kleinste sichtbare Abstand in 150 Millimeter Entfernung etwa $\frac{1}{20}$ Millimeter beträgt, so bleibt bei einigen von den Versuchen an den Horizontallinien für die Verschmelzung in der That wenig Breite übrig. Andere Versuchsreihen von VOLKMANN zeigen, daß überhaupt bei wachsendem Winkel zwischen den Linienpaaren und der Verticallinie die zu verschmelzenden Unterschiede ihrer Abstände

continuirlich kleiner werden und ihr Minimum bei horizontaler Richtung zeigen.

Weiter suchte VOLKMANN auch die größten Unterschiede der Richtung je zweier Linien auf, welche die stereoskopische Vereinigung derselben noch zuliefen. Beide Linien waren als Durchmesser auf drehbaren Scheiben gezogen, wurden erst mit einander parallel gestellt unter dem in der Tabelle bemerkten Winkel gegen die Verticale. Dann wurde die rechte Scheibe so weit bald nach rechts, bald nach links gedreht, bis die stereoskopische Vereinigung aufhörte, die Differenz in der Richtung beider Linien ist dann als Winkelabstand angegeben. Die Zahlen sind Mittelwerthe aus je 20 (VOLK- 736 MANN) oder 30 (SOLGER) Beobachtungen; die Länge der Linien ist mit D bezeichnet.

Winkel mit der Verticale	Winkelabstand		
	VOLKMANN		SOLGER
	$D = 60$ Mm.	$D = 20$ Mm.	$D = 60$ Mm.
0°	5,5°	7,4°	17,5°
10°	5,1°	6,9°	15,5°
20°	4,4°	6,1°	14,0°
30°	3,8°	5,8°	11,5°
40°	3,7°	5,3°	10,2°
50°	3,4°	4,4°	8,9°
60°	2,7°	4,1°	6,2°
70°	2,4°	3,3°	4,5°
80°	1,9°	2,8°	3,9°
90°	1,5°	2,1°	2,9°

Es geht daraus hervor, wie nahehin verticale Linien bei viel größeren Unterschieden ihrer Richtung mit einander verschmelzen, als nahehin horizontale, und dafs auch hier beträchtliche individuelle Unterschiede vorkommen. Kürzere Linien verschmelzen leichter als längere.

WHEATSTONE, der Erfinder des Stereoskops, schlofs aus seinen Versuchen, dafs ebenso, wie disparate Bilder bei der stereoskopischen Projection in eines vereinigt werden könnten, so auch correspondirende Punkte zweier Netzhautbilder an zwei verschiedene Stellen des Raums verlegt und also doppelt gesehen werden könnten. Diese Folgerung ist vielfach bestritten worden. Wenn man sie aber nur in ihrem richtigen Sinne und ihrer nothwendigen Beschränkung auffafst, wird sie nicht wohl geleugnet werden können. Denn wenn einmal zugegeben wird, dafs unter gewissen Umständen und in gewissem Sinne disparate Bilder einfach gesehen werden, so folgt nothwendig, dafs unter denselben Umständen und in demselben Sinne auch correspondirende Bilder doppelt gesehen werden müssen. Es seien AC und BD Fig. 251 (S. 886) zwei Flächen, A und B grün, C und D roth. Sie mögen irgend welchen stereoskopischen Bildern angehören und für den Beschauer sich vereinigen in das einfache Bild einer gegen ihn geneigten Fläche, wobei die Linie ab sich mit der Linie cd vereinigt, obgleich diese Linien

in ihrer Richtung nicht genau correspondiren. Die fixirten Punkte beider Zeichnungen mögen f und g sein und senkrecht über diesen die beiden correspondirenden Punkte h und i liegen. Die letzteren werden auf verschiedenen Seiten von ab und cd liegen können, weil diese Linien der Annahme nach nicht correspondirende sind. In der Figur sind die Punkte durch Kreuzchen bezeichnet, aber nur um ihre Lage anzudeuten; es wird angenommen, daß sie sich in den stereoskopischen Bildern von dem Grunde, auf dem sie liegen, durch nichts auszeichnen. Dann wird in dem gemeinsamen Bilde der scheinbar wahrgenommenen geneigten Fläche alles Grün links, alles Roth rechts von der binocular gesehenen Grenzlinie beider Flächen gesehen, also auch nothwendig der im Grün liegende Punkt h links, der im Roth liegende correspondirende Punkt i rechts von der Grenzlinie beider Farben. Die Ordnung der Punkte in jedem einzelnen Sehfelde wird offenbar durch den gemeinschaftlichen Sehsact nicht umgeändert werden

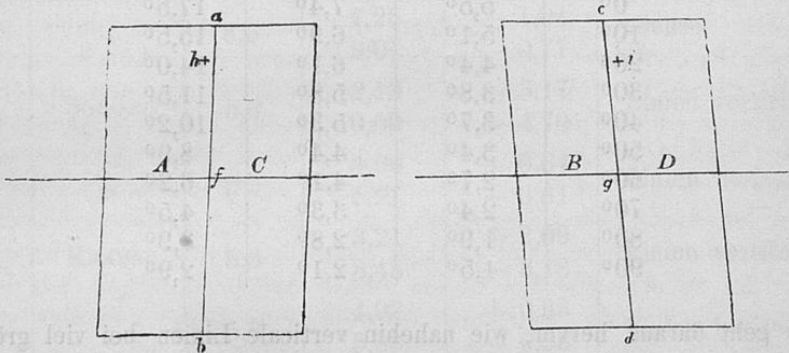


Fig. 251.

können. Die beiden Punkte h und i werden dann also auf zwei verschiedenen Punkten der scheinbar vorhandenen geneigten Fläche localisirt, nicht aber auf zwei Punkte des Sehfelds; denn auf dieses wird hierbei überhaupt nicht geachtet. Aber natürlich wird das eben nur so lange geschehen, als unter dem Einfluß des körperlichen Anschauungsbildes eine genaue Vergleichung der relativen Lage von ab und cd zu den Netzhauthorizonten verhindert wird. Sobald wir unsere Aufmerksamkeit von dem scheinbar vorhandenen körperlichen Objecte ab und der Form der Bilder im Sehfelde zulenken, wird es uns bei hinreichender Übung vielleicht gelingen, die Linien ac und cd von einander getrennt zu sehen, zwischen ihnen einen Streifen, auf dem sowohl Grün wie Roth liegt, und hier das Grün des Punktes h mit dem Roth des Punktes i zusammenfallend.

Ich bemerke hierbei noch, daß von den Vertheidigern der angeborenen Identität der Netzhautstellen angenommen wird, durch den sogenannten Wettstreit der Sehfelder würden in einem solchen Falle die Theile des andern Bildes, welche den Grenzen der farbigen Flächen entsprächen, ausgelöscht.

Unmittelbar neben jeder Contour würde das Grün und Roth, was ihr anliegt, den correspondirenden gleichfarbigen rothen oder grünen Grund unterdrücken. Aber auch dies zugegeben, so würde doch die Lage der Punkte *h* und *i* so gewählt werden können, daß auf ihnen Gleichgewicht des Wettstreits stattfände, und dann würden alle unsere Einwände wieder gelten.

Die Punkte *h* und *i* dürfen übrigens nicht gleichartig bezeichnet sein in der Zeichnung, weil sie sonst die Vorstellung eines Objects, welches hinter der vereinigten Linie *ab—cd* läge, hervorbringen würden; dann würde also in der Raumschauung das neben einander Liegen der Punkte und Linien nicht in Betracht kommen.

Will man solche Deckpunkte, deren Bilder getrennt erscheinen sollen, bezeichnen, so muß man sie verschieden bezeichnen. Hierfür hat WHEATSTONE einen viel besprochenen Versuch vorgeschlagen, bei dem in dem einen Sehfelde eine starke schwarze Linie, in dem andern mit ihr correspondirend eine ganz feine steht. Diese wird aber unter einem kleinen Winkel von einer andern starken gekreuzt, und bei stereoskopischen Combinationen vereinigen sich scheinbar die beiden starken Linien zu einer gegen die Papierfläche geneigten Linie, während die schwache daneben in der Papierfläche erscheint. In WHEATSTONE'S Figur sind nun allerdings die Neigungsunterschiede der beiden zu vereinigenden Linien so groß, daß die meisten Beobachter sie leicht in Doppelbildern sehen werden, wie dies auch von verschiedenen Seiten hervorgehoben ist. WHEATSTONE selbst gehört offenbar zu denjenigen Beobachtern, die sehr weit getrennte Doppelbilder noch übersehen können, und es muß jeder Beobachter die Neigungsunterschiede der zu vereinigenden Linien seinen Augen anpassen. Ich finde die Wirkung noch sicherer, wenn man jederseits eine starke und eine schwache Linie zieht, die sich unter einem Winkel kreuzen, so daß eine starke der schwachen der andern Seite correspondirt, wie dies in *M*, *Taf. V*, für meine Augen passend geschehen ist. Für Beobachter mit anderer Divergenz der scheinbar verticalen Meridiane würde freilich eine etwas andere Stellung der Figuren nöthig sein. In der genannten Figur hier vereinigt sich mir die starke mit der starken, die schwache mit der schwachen Linie, und es gelingt mir in keiner Weise zu sehen, daß die linke starke sich mit der rechten schwachen deckt. Nur wenn ich durch veränderte Divergenz der Augen die Bilder aus einander schiebe, sehe ich, daß die genannten beiden Linien einander vollkommen parallel erscheinen. Man muß auch nicht glauben, daß eines der Bilder beim Beschauen ganz verschwände und übersehen würde; dann könnte keine stereoskopische Wirkung da sein. Es erscheint aber das gekreuzte Linienpaar deutlich mit dem oberen Ende dem Beschauer genähert, wenn man seine Lage mit den daneben gezogenen dünnen Verticallinien vergleicht. Eine solche stereoskopische Wirkung würde nicht eintreten können, wenn die rechte dünne Linie gar nicht gesehen würde.

Eine ähnliche Wirkung erhält man von der *Fig. N*, *Taf. V*, wo die

beiden äußeren Grenzlinien der oberen Hälfte des schwarzen Streifens correspondiren, und ebenso ihre Fortsetzungen, die inneren Grenzlinien, der unteren Hälfte. Im Gesamtbilde sieht man einen schwarzen Streifen, und an diesem erscheinen die beiden Grenzlinien, die sich correspondiren, an entgegengesetzten Seiten. Auch in dieser Figur wird die Neigung der schwarzen Dreiecke von solchen Beobachtern, die eine andere Divergenz der verticalen Meridiane haben, etwas geändert werden müssen.

In den Beispielen *M* und *N* werden es die meisten Beobachter unmöglich finden, zu sehen, daß die sich scheinbar vereinigenden Linien im gemeinsamen Gesichtsfelde sich wirklich nicht decken, und daß im Gegentheil die rechte dünne und linke dicke Linie der Figur *M*, die entgegengesetzten Ränder der Streifen in *N* aufeinanderfallen. Ich will indessen nicht leugnen, daß bei einem in der Beobachtung von Doppelbildern recht geübten Beschauer die Beobachtung gelingen könnte. Ich selbst bemerke wohl mitunter bei recht scharfer Fixirung der Mittelpunkte, daß ich die betreffenden Linien nicht eigentlich einfach sehe, aber ohne die Doppelbilder bestimmt trennen zu können. Noch leichter trennt man sie, wenn man, wie W. v. BEZOLD, die Figuren mit Tusche auf einer Glasplatte ausführt, so daß man bei plötzlich geänderter Beleuchtung die eine hell auf dunklem Grunde, die andere dunkel auf hellem Grunde sehen kann. Dann schwindet das Streben zur Verschmelzung, und man erkennt leicht die disparate Lage der Bilder. Ich will hier nur hervorheben, und nur das kann ich als den wahren Sinn des WHEATSTONE'schen Versuchs betrachten, daß, so lange man in die körperliche Anschauung versenkt bleibt, selbst bei festgehaltenem Fixationspunkte, die Eindrücke correspondirender Punkte benutzt werden, um differente Theile des körperlichen Gesamtbildes auszufüllen. Wenn man sich unter Umstände versetzt, welche einen Irrthum in der Vergleichung der zwei verschiedenen Bilder beider Sehfelder möglichst begünstigen, werden Bilder disparater Punkte vereinigt und Bilder correspondirender Punkte getrennt. Das erstere kann, wie gezeigt wurde, sogar nicht ohne das andere vor sich gehen; das zweite ist eine logische Folge des ersten. Daraus folgt aber nicht, wenn man die Art der Beobachtung passend verändert, um die Vergleichung der Bilder beider Sehfelder möglichst ungestört vollziehen zu können, und sich die Bilder disparater Punkte in Folge dessen trennen, daß dann die Bilder correspondirender Punkte sich nicht wieder vereinigen sollten.

Hinzuzufügen ist noch, daß auch bei der Beleuchtung durch den elektrischen Funken die stereoskopische Combination der letzt beschriebenen Figuren *M* und *N* ganz vollkommen eintritt, und daß man dabei keine Spur von den Doppelbildern sieht, die im gemeinsamen Sehfelde erscheinen sollten, wenn die Bilder correspondirender Punkte einfach auf einander gelegt würden. Die Wirkung ist also durchaus nicht von Augenbewegungen abhängig.

Wir haben noch einige andere Umstände zu besprechen, die bei der Verschmelzung von zwei verschiedenen Netzhautbildern zu berücksichtigen sind.

Erstens ist zu bemerken, daß, so lange stereoskopische Tiefenwahrnehmung da ist, nicht, wie einige Anhänger der angeblichen Identität der Netzhäute angenommen haben, das eine der beiden Doppelbilder etwa deshalb verschwindet, weil es vollständig übersehen wird und gar nicht zur Empfindung kommt. Wenn letzteres der Fall wäre, würde keine binoculare Tiefenwahrnehmung stattfinden können, die eben nur auf der Verschiedenheit der Bilder und auf der Perception dieser Verschiedenheit beruht. Ja, die sehr große Genauigkeit der Tiefenwahrnehmung zeigt sogar, daß die Verschiedenheit der Bilder auch mit großer Genauigkeit wahrgenommen wird, freilich nicht als eine Verschiedenheit in der Ausfüllung der Sehfelder, sondern nur als sinnlicher Ausdruck der verschiedenen Entfernung der Objectpunkte. Wo keine Tiefenwahrnehmung zu Stande kommt, da kommt es allerdings vor, daß einzelne Theile der Bilder zeitweise oder ganz verlöschen; wir werden diese Fälle im nächsten Paragraphen genauer zu besprechen haben.

Zweitens ist noch der Einfluß der Augenbewegungen auf die Verschmelzung der Doppelbilder zu besprechen. In dieser Beziehung hat E. BRUECKE die Meinung aufgestellt, daß wir eine Wahrnehmung der Tiefendimensionen des Objects nur dadurch bekommen, daß wir fortdauernd mit den Blicklinien an den verschiedenen Contouren des gesehenen Objects entlang laufen und hierbei nach einander alle einzelnen Punkte dieser Contouren auf den identischen Centren der Netzhautgrube abgebildet erhalten. Da nun unsere Aufmerksamkeit der Regel nach auf die Bilder der am genauesten sehenden Stelle 740 der Netzhaut concentrirt ist, so konnte mit Grund die Frage aufgeworfen werden, ob nicht deshalb die Doppelbilder der übrigen Theile des Objects übersehen werden, weil für gewöhnlich die am genauesten gesehenen und unsere Aufmerksamkeit am meisten fesselnden Theile der Bilder correspondirende sind. Es ist dieser Ansicht von BRUECKE gegenüber zuzugeben, daß in der That die darin betonten Momente von großem Gewicht für die Gewinnung vollständiger Tiefenanschauungen sind, und daß die von ihm gegebene Beschreibung der Art, wie sie entstehen, den Verhältnissen des gewöhnlichen unbefangenen Sehens vollkommen entspricht. Eine Vereinigung von sehr differenten Bildern gelingt in der That nur mittels der Augenbewegungen, indem man nach einander die einzelnen Theile der Bilder einfach sieht und die Aufmerksamkeit ihren natürlichen Gang gehen läßt, wobei sie immer auf diejenigen Theile vorzugsweise gerichtet ist, welche fixirt werden. Auch wird durch dieses Herumführen des Blicks die Tiefenanschauung entschieden genauer und lebendiger, als bei Fixation eines Punktes, was ich daraus erklären möchte, daß nur die Tiefenunterschiede derjenigen Bildpunkte genau erkannt werden, die dem jedesmaligen Horopter sehr nahe liegen. Dadurch also, daß man die Convergenz wechseln läßt und nach einander alle Punkte des wirklichen oder scheinbaren Objects in den Horopter oder ihm mindestens sehr nahe bringt, erhält man nach einander eine genaue Anschauung aller Tiefenunterschiede. Fixirt man den Blick längere Zeit

auf einen Punkt, so treten im Gegentheil die Doppelbilder leichter hervor und die Tiefenunterschiede namentlich derjenigen Punkte, welche in sehr disparaten Doppelbildern erscheinen, werden undeutlich. Ja, die Doppelbilder, welche man durch sehr anhaltende strenge Fixation eines Punktes nicht von einander lösen kann, liegen so nahe an der Grenze der Unterscheidungs-fähigkeit der Augen, daß ich glaube annehmen zu dürfen, daß sie nur wegen der unvermeidbaren kleinen Augenbewegungen nicht auch aufgelöst werden. Indessen war die von BRUECKE aufgestellte Theorie etwas zu ausschliesslich, wenn er meinte, daß alle Tiefenwahrnehmungen nur durch Augenbewegungen gewonnen und alle Doppelbilder nur durch successives Einfachsehen der einzelnen Punkte beseitigt werden könnten. Es wurde nämlich von DOVE gezeigt, daß auch bei instantaner Beleuchtung durch einen elektrischen Funken stereoskopische Effecte erhalten und Doppelbilder verschmolzen werden können. Es kann dazu der auf Seite 710 beschriebene Apparat gebraucht werden. Nur muß man dafür sorgen, daß im Momente der elektrischen Beleuchtung die beiden Blicklinien auf correspondirende Theile des Bildes gerichtet seien. Zu dem Ende pflege ich zwei feine Nadelstiche durch correspondirende Punkte der zu vereinigenden Zeichnungen zu machen. Die Wand des dunkeln Kastens, in welchem das Bild angeheftet wird, ist hinter diesen Nadelstichen selbst durchbohrt und das Zimmer nicht ganz verdunkelt, so daß der Beobachter die beiden Nadelstiche mittels des schwachen hindurchfallenden Lichtes sehen kann. Er richtet auf sie die Blicklinien, so daß ihre Bilder im gemeinschaftlichen Sehfelde sich decken, und dann läßt er den Funken überschlagen. Dabei geben stereoskopische Zeichnungen von nicht zu großen Differenzen, wie *E*, *M* und *N*, *Taf. IV* und *V*, ganz deutliche und lebendige Tiefenanschauung ohne wahrnehmbare Doppelbilder; solche von größeren Differenzen, wie *H*, zerfallen aber in einzelne Linien und geben keine Tiefenanschauung. Auch alle über einander stehenden Horizontallinien, wie in *F*, trennen sich auffallend leicht. Hat man dabei einfache Zeichnungen von wenigen Linien vor sich, so übersieht man bei der instantanen Beleuchtung das Ganze auf einmal. Hat man dagegen complicirte stereoskopische Photographien vor sich mit vielen Einzelheiten, so gewinnt man nur von einem gewissen Theile des Ganzen einen deutlichen Eindruck und braucht mehrere Funken, um nach einander das Ganze zu übersehen. Dabei ist es sonderbar, daß während man die beiden Nadelstiche fest fixirt und in Deckung erhält, man willkürlich vor dem Funken die Aufmerksamkeit auf eine beliebige Stelle des dunklen Gesichtsfeldes richten kann, und dann während des Funkens einen Eindruck nur von den Objecten erhält, die in dieser Gegend des Sehfeldes erscheinen. Es ist in dieser Beziehung die Aufmerksamkeit ganz unabhängig von der Stellung und Accommodation des Auges, überhaupt von irgend einer der bekannten Veränderungen in und an diesem Organe, und demgemäß kann sie mit einer selbstbewußten und willkürlichen Anstrengung auf eine bestimmte Stelle in dem absolut dunklen und unterschiedslosen Gesichtsfelde hingerrichtet

werden. Es ist dies einer der auffallendsten Versuche für eine künftige Theorie der Aufmerksamkeit.

Die Versuche mit momentaner Beleuchtung sind auch noch insofern für die Rolle, welche die Aufmerksamkeit bei den Doppelbildern spielt, interessant, als es bei solchen Bildern, die wie *J* ohne große Anstrengung sowohl stereoskopisch einfach, als auch mit geringer Mühe als Doppelbilder gesehen werden können, leicht gelingt, beides auch beim Lichte des elektrischen Funkens zu sehen. Der erste Eindruck ist gewöhnlich der stereoskopisch einfache; wenn man aber in Pausen von etwa 10 Secunden, in denen die Nachbilder vollständig erlöschen können, die Beobachtung wiederholt, so fängt man an die Doppelbilder zu sehen, trotzdem man immer denselben Punkt fixirt und jede nachfolgende Lichteinwirkung der ersten absolut gleich ist. Ja, selbst bei solchen Figuren, wie *M*, wo es mir relativ schwer wird die Doppelbilder zu sehen, kann ich sie auch bei instantaner elektrischer Beleuchtung endlich sehen, wenn ich mir vorher lebhaft vorzustellen suche, wie sie aussehen müssen. Der Einfluss der Aufmerksamkeit ist hier reiner zu beobachten, weil jede Einwirkung der Augenbewegungen ausgeschlossen ist. Die gleichen Versuche können auch mit VOLKMANN'S schon oben beschriebenem Tachistoskop ausgeführt werden.

Ferner ist zu bemerken, daß es verschiedenen zuverlässigen Beobachtern, wie WHEATSTONE¹, ROGERS² und WUNDT³, gelungen ist, auch Nachbilder, welche nicht ganz genau correspondirende Lage hatten, zu einer stereoskopischen Tiefenwahrnehmung zu verschmelzen. ROGERS hat es sogar möglich gefunden, erst das Nachbild in dem einen, dann im andern Auge zu entwickeln und schließlic beide Nachbilder stereoskopisch zu combiniren. Dadurch ist der Einfluss, den die vorausgängige Anschauung der wirklichen 742 Bilder auf die Deutung der Nachbilder allenfalls haben könnte, vermieden. An positiven Nachbildern, die ich selbst durch momentanes Anschauen hell beleuchteter Gegenstände entwickelt hatte, habe ich übrigens auch deutliche Tiefenanschauung gehabt.

Auch diese Versuche zeigen, wie die mit dem elektrischen Funken, daß keine Bewegung der Augen nöthig ist, um Tiefenwahrnehmung zu vermitteln, denn bei jeder Bewegung verschieben sich die Nachbilder mit dem Auge und durch keine Augenbewegung können disparate Bilder zu correspondirenden gemacht werden. Übrigens gelingen die Versuche mit den Nachbildern schwer; diese müssen sehr scharf entwickelt sein, und selbst wenn sie es sind, besteht immer eine Neigung, sie auf die Fläche des reellen Hintergrunds, den man anschaut, zu projeciren und als bloße Flecke auf dessen Oberfläche anzusehen.

PANUM hat die Regel für das Verschmelzen der Doppelbilder in der Weise ausgesprochen, daß einander ähnliche Contouren, welche auf nahehin

¹ WHEATSTONE, *Phil. Transact.* 1838. T. II, p. 392—393.

² ROGERS, *Silliman's Journal* (2) XXX, November 1860.

³ WUNDT, *Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung.* S. 286—287.

correspondirenden Netzhautpunkten sich abbilden, mit einander verschmelzen sollen. Er bezeichnet dabei den Umfang derjenigen Punkte der andern Netzhaut, welche mit ein und demselben Punkte der ersten Netzhaut verschmelzen können, als den correspondirenden Empfindungskreis jenes Punktes. Diesen Empfindungskreisen schreibt er nach Maafsgabe der oben erörterten Thatsachen einen größeren horizontalen Durchmesser, einen kleineren verticalen zu. Ich habe dagegen in der hier gegebenen Darstellung das Verschmelzen der Doppelbilder davon abhängig gemacht, daß die Sicherheit und Genauigkeit der Abmessungen des Augenmaafses für die entsprechenden Dimensionen beider Bilder nicht groß genug sei, um nicht Irrthümer zu erlauben, und daß ein solcher Irrthum begünstigt werde durch die Anschauung des einen körperlich ausgedehnten Objects, welches man vor sich hat oder vor sich zu haben glaubt. Es hat schon VOLKMANN gegen PANUM'S Fassung des Gesetzes solche Fälle, wie *G, Taf. IV*, geltend gemacht, wo durch Zusetzung eines Punktes oder anderer kleiner Incongruenzen beider Bilder die Verschmelzung gestört wird. PANUM hat dawider entgegnet, daß in diesen Fällen immer eine Unähnlichkeit der Contouren auftrete, welche auch nach seiner Fassung des Gesetzes die Verschmelzung hindern müßte. Gegen andere Versuche von VOLKMANN, aus denen hervorgeht, daß Linienpaare von kleinem Abstände bei gleicher Differenz des Abstandes nicht so leicht verschmelzen, als solche von größeren Abständen, hat er die Antwort gegeben, daß eng an einander stehende Linien sich bei der Fixation ganz nahe am Centrum der Netzhaut abbilden, und daß dort die correspondirenden Empfindungskreise kleiner seien und deshalb die Doppelbilder nicht verschmelzen könnten. VOLKMANN'S letzterwähnte Beobachtung können wir aber in folgender Weise wiederholen. In *Fig. U, Taf. VII*, sind jederseits 5 Linien gezeichnet; die Paare 1 und 3, sowie 4 und 5 haben in der linken Gruppe den Abstand von 4 Millimeter, in der rechten von 5 Millimeter. In das Innere des Paares 1—3 ist jederseits noch die Linie 2 hineingesetzt worden, welche beiderseits von 1 den gleichen Abstand von 3 Millimeter hat und daher von der Linie 3 links nur 1, rechts aber 2 Millimeter absteht. Fixirt man nun die Linie 4 des Gesamtbildes, so erscheint 5 einfach und etwas nach hinten liegend. Fixirt man dagegen fest und sicher 1, so erscheinen die beiden Linien 3 von einander getrennt, die Linie 2 dagegen natürlich einfach und mit 1 in gleichem Tiefenabstände. Nur bei Bewegungen des Blicks kann man auch 3 einfach sehen, wobei dann die ganze Gruppe als ein vierkantiges senkrecht Prisma erscheint, auf dessen vorderer Fläche noch eine Linie, nämlich 2, parallel mit den Kanten gezogen ist. Nun liegen aber bei der Fixation der Linie 1 des Gesamtbildes die beiden Linien 3 gerade so auf den Netzhäuten, wie bei Fixation von 4 die beiden Linien 5 liegen. Das Hinderniß der Vereinigung besteht offenbar in der Linie 2, die aber nicht zwischen beiden, sondern links von beiden liegt, und nach PANUM'S Fassung des Gesetzes die Vereinigung nicht hindern sollte. Faßt man aber die Vereinigung der Doppelbilder als eine Täuschung des Augenmaafses, so

ist aus dem FECHNER'schen Gesetze klar, daß die Unterscheidung zwischen 1 und 2 Millimeter des Abstandes, wie ihn die Linien 2 und 3 haben, sicherer sein muß, als zwischen 4 und 5 Millimeter bei den Linien 4 und 5.

Auch bei den Versuchen mit Kreisen kommt Ähnliches vor. Wenn man zwei etwas ungleiche Kreise gezeichnet hat, die sich binocular verschmelzen lassen, und man umgiebt beide concentrisch mit einem andern Kreise, der auf beiden Seiten gleichen Radius hat, einen Radius wenig größer als der des größeren der beiden ersten Kreise, so trennen sich jetzt die Bilder der beiden innern Kreise verhältnißmäßig leicht.

Eine Frage endlich, die sich hier anschließt und die ebenfalls in theoretischer Beziehung Wichtigkeit hat, ist die, ob wir die Eindrücke des einen Auges von denen des andern unterscheiden. In dieser Beziehung ist zu bemerken, daß wir auch bei instantaner elektrischer Beleuchtung die Tiefenunterschiede stereoskopisch gesehener Liniengruppen immer richtig sehen, niemals verkehrt, und daß selbst, wenn ich mir möglichst deutlich das umgekehrte Relief der Figur vorzustellen suchte, um mit Absicht eine Täuschung herbeizuführen, was mir bei der Umkehrung des Reliefs von Medaillen bei monocularer Betrachtung meist schnell gelingt, ich es unmöglich fand, das stereoskopische Relief zu ändern¹. Eine solche Verkehrung des Reliefs würde aber nothwendig eintreten müssen, wenn man den Eindruck der beiden Netzhautbilder verwechseln könnte mit demjenigen Eindrucke, welcher bei Vertauschung der beiden Netzhautbilder unter einander eintreten würde. Daraus folgt also zunächst, daß der momentane Eindruck, den zwei Netzhautbilder machen, deutlich und bestimmt verschieden sein muß von demjenigen, welchen dieselben Netzhautbilder machen würden, wenn jedes auf die correspondirenden Punkte des andern Auges übertragen würde.

Etwas anderes ist es, daß wir für gewöhnlich kein bestimmtes Bewußtsein davon haben, mit welchem Auge wir das eine oder andere Bild sehen. Das wissen wir nicht oder nur unvollkommen und nur durch nebensächliche Umstände zu beurtheilen, wie wir denn aus unseren Sinnesempfindungen nichts herauszulesen wissen, was wir nicht durch oft wiederholte Beobachtungen als ihre Bedeutung kennen gelernt haben. Daß also zwei nahe an einander stehende Doppelbilder gewisser Art mit gewissen Localzeichen ein Object, welches ferner von uns ist als der Fixationspunkt, und nicht ein näheres bedeuten, können wir vollkommen gelernt haben, ohne doch genügende Übung zu haben, um aus den Localzeichen der Bilder herauszulesen, welches von den beiden Halbbildern dem rechten oder linken Auge angehöre. Um letzteres zu ermitteln, müssen wir erst das eine Auge schließsen oder verdecken, was wir beim gewöhnlichen Sehen nicht thun, wobei wir, wie oben erwähnt, auf die Doppelbilder ja auch gar nicht zu achten pflegen.

¹ Dieselben Beobachtungen von AUBERT und MARBACH in *Aubert, Physiologie der Netzhaut*. S. 315. Breslau 1865, mit vielfach abgeänderten Figuren. Neuerdings hat auch DONDERS im Wesentlichen dieselben Resultate erhalten.

Wir wissen deshalb in der Regel auch ohne einen besonders darauf zielenden Versuch nicht anzugeben, welchem Auge das eine, welchem das andere Doppelbild angehört. Auch die Augenbewegungen helfen dabei nicht viel, weil wir bei Convergenzbewegungen — und auf solche käme es hier an — keine deutliche Vorstellung davon haben, nach welcher Richtung sich jedes einzelne Auge verschiebt.

Dagegen sehen wir fortdauernd die am weitesten rechts gelegenen Theile des gemeinsamen Gesichtsfeldes nur mit dem rechten Auge; dem linken werden sie durch die Nase verdeckt; und ebenso sehen wir die ganz links gelegenen Objecte nur mit dem linken Auge, und dem entsprechend urtheilen wir denn leicht, das, wenn jene Gegend des Gesichtsfeldes einem Auge ganz verdunkelt ist, wir die gesehenen Objecte mit dem andern Auge sehen. ROGERS hat einen Versuch mit auffallendem Erfolge angegeben, der hierher gehört. Man mache aus schwarzem Papier eine Röhre von etwa 2 Zoll Durchmesser, halte sie vor das rechte Auge und sehe damit nach dem Hintergrunde des Zimmers, am besten nach links hinüber, während man gleichzeitig einige Zoll vor dem linken Auge ein Quartblatt schwarzen Papiers hält, welches diesem den gesehenen Theil des Zimmerhintergrundes verdeckt. Dann tritt sehr energisch die Täuschung ein, als sähe man mit dem linken Auge durch eine Öffnung des Papiers nach dem Hintergrunde des Zimmers, während doch das Papier keine Öffnung hat, und nicht das linke, sondern das rechte Auge durch die Öffnung der Röhre blickt.

Übrigens muß ich doch wiederum bemerken, das, wenn ich zwei stereoskopische Photographien vor mir habe, von denen eine einen dunklen oder verwaschenen Fleck hat, ich gewöhnlich den Eindruck habe, als wäre das Auge, womit ich den Fleck sehe, getrübt, und das ich unwillkürlich versuche, mit den Lidern dieses Auges die Trübung wegzuwischen, was doch ein Zeichen ist, das ich in einem solchen Falle empfinde, in welchem Auge die undeutliche Stelle abgebildet ist.

Was die Richtung betrifft, in der wir die Doppelbilder sehen, so ergibt sich diese aus dem, was über die Richtung der monocular gesehenen Bilder oben schon gesagt worden ist. Wir sehen das Bild jedes Auges so, als hätte das von E. HERING angenommene imaginäre cyklopische Auge das entsprechende Netzhautbild erhalten, während es nach dem Fixationspunkte hingerichtet ist. Wird also binocular gesehen, so kann man sich beide Netzhautbilder in das imaginäre cyklopische Auge sich gegenseitig deckend eingetragen denken, und dann entsprechend in den Raum projicirt. Ihre Entfernung vom Beobachter wird so weit richtig beurtheilt, als die bei 745 Doppelbildern unvollkommene stereoskopische Tiefenwahrnehmung und die Hilfsmittel der monocularen Beurtheilung der Entfernung dies möglich machen. Aus der angegebenen von E. HERING und J. TOWNE¹ gemachten Beobachtung

¹ Herr J. TOWNE hat die wichtigen Beobachtungen über die scheinbaren Sehrichtungen unabhängig von Herrn E. HERING gemacht. Er berichtet mir brieflich, das er die Versuche schon im Jahre 1859 gezeigt habe. Seine Publicationen, so weit sie mir bekannt geworden sind, datiren aber erst von 1862 ab.

erklärt sich nun auch, warum die Doppelbilder immer getrennt in den Raum projicirt werden. Würden sie in der richtigen Richtung ihrer Visirlinien projicirt, so würden sie an denjenigen Ort verlegt werden können, wo die betreffenden Visirlinien sich schneiden, und dann einfach erscheinen. In Wahrheit wird aber durch die irrthümliche Beziehung der Sehrichtungen auf ein Centrum in der Mittelebene des Gesichts bewirkt, daß zwei verschiedene Sehrichtungen vor dem Beobachter im Raume sich nie wieder schneiden können und die in ihrer Richtung projicirten Bildpunkte nothwendig immer getrennt bleiben müssen. Über den vermuthlichen Grund dieses Irrthums ist schon oben gesprochen worden.

Gesetze der correspondirenden Punkte und Linien. Man denke sich zwei Ebenen normal zu den beiden Blicklinien in gleicher Entfernung von deren Kreuzungspunkte. In der einen seien die Coordinaten x und y , in der andern ein beliebig gelegtes anderes System ξ und v . Für die Schnittpunkte der beiden Blicklinien mit den Ebenen sei $x = y = 0$ und $\xi = v = 0$. Die Ebenen der Netzauthorizonte mögen die beiden Ebenen in den Linien

$$ax + by = 0 \quad \text{und} \quad \alpha\xi + \beta v = 0 \quad 1)$$

schneiden; die scheinbar verticalen Meridianebenen in den Linien

$$cx + dy = 0 \quad \text{und} \quad \gamma\xi + \delta v = 0 \quad 1 a).$$

Wenn nun die Coefficienten so gewählt sind, daß

$$\left. \begin{aligned} a^2 + b^2 &= \alpha^2 + \beta^2 = 1 \\ c^2 + d^2 &= \gamma^2 + \delta^2 = 1 \end{aligned} \right\} 1 b),$$

welchen Bedingungen man immer dadurch Genüge leisten kann, daß man beide Coefficienten je einer Gleichung mit einem constanten Factor multiplicirt, wobei die Gleichungen 1) und 1 a) weiter nicht geändert werden, so bedeutet nach einem bekannten Satze der analytischen Geometrie der Ausdruck

$$ax + by$$

die Entfernung des Punktes (x, y) von der Linie, deren Gleichung ist $ax + by = 0$. Entsprechende Bedeutung haben die andern Ausdrücke, die in den Gleichungen 1) und 1 a) gleich Null gesetzt sind. Den erwähnten Factoren, mit welchen die Coefficienten dieser Gleichungen zu multipliciren sind, kann man außerdem ein solches Vorzeichen geben, daß die Ausdrücke

$$ax + by \quad \text{und} \quad \alpha\xi + \beta v$$

positiv auf correspondirenden Seiten der beiden Netzauthorizonte, und ebenso die Ausdrücke

$$cx + dy \quad \text{und} \quad \gamma\xi + \delta v$$

positiv sind auf correspondirenden Seiten der scheinbar verticalen Meridianebenen.

Die Versuche haben uns zu dem Gesetze geführt, daß solche Punkte beider Ebenen correspondiren, welche gleich weit von den Ebenen der Netzauthorizonte abstehen und außerdem gleich weit von den Ebenen der scheinbar verticalen

Meridiane entfernt sind. Sind die vorausgenannten Bedingungen bezüglich der Coefficienten in den Gleichungen 1) und 1 a) erfüllt, so sind die Bedingungen der Correspondenz:

$$\left. \begin{aligned} ax + by &= \alpha \xi + \beta v \\ cx + dy &= \gamma \xi + \delta v \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 1 c).$$

Eine gerade Linie des einen Feldes nennen wir correspondirend einer des anderen Feldes, wenn jeder Punkt der ersten einen correspondirenden Punkt in der andern findet.

Wenn wir beliebige Constanten mit l, m, n bezeichnen, so ist die Linie:

$$l(ax + by) + m(cx + dy) + n = 0 \dots \dots \dots 1 d).$$

correspondirend mit der Linie im andern Felde

$$l(\alpha \xi + \beta v) + m(\gamma \xi + \delta v) + n = 0 \dots \dots \dots 1 e),$$

Denn wenn wir für irgend welche constanten Werthe von (x, y) im zweiten Felde die Linie ziehen:

$$\alpha \xi + \beta v = ax + by \dots \dots \dots 1 f),$$

so ist für deren Schnittpunkt mit der Linie 1 e) auch

$$\gamma \xi + \delta v = cx + dy,$$

wie aus der Subtraction der Gleichungen 1 d) und 1 e) in diesem Falle folgt. Der Schnittpunkt von 1 e) und 1 f) ist also in diesem Falle correspondirend mit dem Punkte (x, y) .

Es wird sich die Gleichung jeder geraden Linie

$$fx + gy + h = 0 \dots \dots \dots 1 g)$$

leicht auf die Form 1 d) bringen lassen, indem man setzt

$$f = la + mc$$

$$g = lb + md$$

$$h = n$$

oder

$$l = \frac{df - gc}{ad - bc}$$

$$m = \frac{bf - ag}{bc - ad}$$

$$n = h,$$

wodurch die drei Coefficienten der Gleichung 1 d) eindeutig bestimmt sind. Indem man dann aus der Gleichung 1 d) die Gleichung 1 e) bildet, findet man die correspondirende Linie von 1 g).

Wenn wir die Gleichung 1 d) dividiren durch

$$k = \sqrt{(la + mc)^2 + (lb + md)^2},$$

so kommt die Gleichung auf die Normalform der Flächengleichungen, wobei die Größe $\frac{n}{k}$ den Abstand zwischen der Fläche 1d) und dem Nullpunkte der Coordinaten bezeichnet. Setzen wir

$$z = \sqrt{(l\alpha + m\gamma)^2 + (l\beta + m\delta)^2},$$

so bezeichnet $\frac{n}{z}$ dieselbe Distanz für die Fläche 1e). Beide Distanzen sind also nur dann gleich, wenn

$$k^2 = z^2.$$

Mit Berücksichtigung der Gleichung 1b) wird dies:

$$2ml(ac + bd) - 2ml(\alpha\gamma + \beta\delta) = 0.$$

Wenn nun nicht

$$ac + bd = \alpha\gamma + \beta\delta$$

ist, das heißt, wenn die beiden Ebenenpaare 1) und 1a) in jedem Auge nicht gleiche Winkel mit einander machen, so ist jene Bedingung nur zu erfüllen, wenn entweder $m = 0$ oder $l = 0$ ist, das heißt, wenn die Ebenen 1d) und 1e) entweder mit den Ebenen 1) oder mit den Ebenen 1a) zusammenfallen. Diese beiden sind durch die angegebene Eigenschaft also vor allen anderen correspondirenden Ebenenpaaren, welche durch die Blicklinie gehen, ausgezeichnet. Wir können deshalb die genannten beiden Ebenen als Hauptmeridianebenen bezeichnen.

Berechnung correspondirender Strecken und Winkel in beiden Augen. Legen wir der Bequemlichkeit wegen die x und ξ Axe in den Netzhauthorizont, so wird in den Gleichungen 1)

$$a = \alpha = 0, \quad b = \beta = 1$$

und setzen wir die Lage der scheinbar verticalen Meridiane, wie dies wenigstens in der Regel sehr nahehin der Fall ist, als symmetrisch voraus, so ist zu nehmen

$$\frac{d}{c} = - \frac{\delta}{\gamma} = - \text{tang } \varepsilon,$$

wo ε die Abweichung zwischen dem scheinbar und wirklich verticalen Meridiane jedes Auges bezeichnet. Dann ist

$$\begin{aligned} c &= \cos \varepsilon & \gamma &= \cos \varepsilon \\ d &= - \sin \varepsilon & \delta &= \sin \varepsilon. \end{aligned}$$

Die Gleichungen der Netzhauthorizonte sind dann

$$y = 0 \text{ und } v = 0 \dots\dots\dots 1h),$$

die der scheinbar verticalen Linien

$$x \cos \varepsilon - y \sin \varepsilon = 0 \text{ und } \xi \cos \varepsilon + v \sin \varepsilon = 0 \dots\dots\dots 1i)$$

und die Gleichungen correspondirender Linien, welche durch die Blickpunkte gehen, werden nach 1d) und 1e)

$$xm \cos \epsilon + y (l - m \sin \epsilon) = 0$$

$$\xi m \cos \epsilon + v (l + m \sin \epsilon) = 0.$$

748 Sind s und σ die Winkel, welche diese Linien mit den Axen der x und ξ machen, so ist

$$\text{tang } s = \frac{y}{x} = - \frac{m \cos \epsilon}{l - m \sin \epsilon}$$

$$\text{tang } \sigma = \frac{v}{\xi} = - \frac{m \cos \epsilon}{l + m \sin \epsilon},$$

woraus folgt:

$$\text{tang } (\sigma - s) = \frac{2m^2 \cos \epsilon \sin \epsilon}{l^2 + m^2 \cos (2\epsilon)}$$

$$\text{tang } (\sigma + s) = - \frac{2ml \cos \epsilon}{l^2 - m^2}.$$

Setzen wir nun

$$\frac{m}{l} = \text{tang } \beta,$$

so wird

$$\text{tang } (\sigma - s) = \frac{\text{tang}^2 \beta \cdot \sin (2\epsilon)}{1 + \text{tang}^2 \beta \cos (2\epsilon)}$$

$$\text{tang } (\sigma + s) = - \text{tang } (2\beta) \cos \epsilon$$

oder da ϵ ein verhältnißmäßsig kleiner Winkel ist und deshalb $\cos \epsilon = \cos 2\epsilon = 1$ und $\sin (2\epsilon) = 2\epsilon$ gesetzt werden kann

$$\beta = - \frac{s + \sigma}{2}$$

$$\sigma - s = 2\epsilon \sin^2 \beta.$$

Die Winkel s und σ sind von den Netzauthorizonten ab gezählt. Sollen sie von der Visirebene ab gerechnet werden, so muß zu der Differenz noch der Winkel γ hinzukommen, den die Netzauthorizonte machen, und wir erhalten dann die oben gebrauchte Formel für ihre Differenz

$$A = \gamma + 2\epsilon \sin^2 \beta \dots\dots\dots 2).$$

Correspondirende Visirlinien und Ebenen. Ziehen wir durch jeden einzelnen eines Paares correspondirender Punkte und den Mittelpunkt der Visirlinien des zugehörigen Auges gerade Linien, so sind diese correspondirende Visirlinien. Punkte, die in solchen correspondirenden Visirlinien liegen, werden auf Deckstellen beider Netzhäute abgebildet.

Befindet sich in den bisher betrachteten Ebenen der (x, y) und (ξ, v) ein Paar correspondirender gerader Linien verzeichnet, so liegen deren Visirlinien alle in

zwei durch die Mittelpunkte der Visirlinien gehenden Ebenen, welche correspondirende Ebenen genannt werden können.

Jedes Paar gerader Linien, welches in einem Paare correspondirender Ebenen gezogen ist, bildet sich auf correspondirenden Linien beider Netzhäute ab.

Wenn zwei correspondirende Ebenen sich schneiden, so bildet sich die Schnittlinie auf correspondirenden Linien beider Netzhäute ab.

Die Coordinaten der Mittelpunkte der Visirlinien seien

$$\begin{aligned} x &= 0, & y &= 0, & z &= e \\ \xi &= 0, & v &= 0, & \zeta &= e. \end{aligned}$$

Nach bekannten Sätzen der analytischen Geometrie ist die Gleichung einer Ebene, welche durch den Punkt (x, y, z) geht, von der Form

$$fx + gy + \frac{h}{e}(e - z) = 0.$$

Setzen wir $z = 0$, so kommt die Gleichung unmittelbar auf die Form 1g) und ist nach der dort angegebenen Methode die correspondirende Linie in der (ξ, v) Ebene, und danach die correspondirende Ebene zu finden.

Bilden wir die Gleichungen

$$\left. \begin{aligned} A &= ax + by & \mathfrak{A} &= \alpha\xi + \beta v \\ B &= cx + dy & \mathfrak{B} &= \gamma\xi + \delta v \\ C &= z - e & \mathfrak{C} &= \zeta - e \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots 3),$$

so sind alle Ebenen, deren Gleichungen von der Form sind

$$\left. \begin{aligned} lA + mB + nC &= 0 \\ l\mathfrak{A} + m\mathfrak{B} + n\mathfrak{C} &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots 3a)$$

correspondirende Ebenen. Denn die Gleichungen sind von der Form derjenigen, welche durch die Mittelpunkte der Visirlinien gehen, und wenn wir $z = 0$ und $\zeta = 0$ setzen, behalten wir nach dem in 1d) und 1e) ausgesprochenen Satze die Gleichungen correspondirender Linien übrig, die in den xy und ξv Ebenen liegen. Folglich sind die Ebenen correspondirend.

Correspondirende Visirlinien sind zu geben als Schnittlinien je zweier Paare correspondirender Ebenen.

Gleichungen für die einfach gesehene Geraden. Bisher haben wir die Lage der correspondirenden Linien und Ebenen nur in Bezug auf die Lage des zugehörigen Auges betrachtet, aber die Lage der Augen gegen einander und zu den Objecten des Raumes noch gar nicht berücksichtigt. Um das letztere zu thun, denken wir uns die Lage aller Punkte und der Augen selbst auf ein gemeinsames rechtwinkeliges Coordinatensystem der x, y, z bezogen. Wenn wir die x, y, z und ξ, v, ζ durch diese neuen Coordinaten ausdrücken, werden ihre Werthe bekanntlich lineare Functionen der x, y, z , und ebenso auch die linear aus x, y, z , beziehlich ξ, v, ζ zusammengesetzten Größen A, B, C und $\mathfrak{A}, \mathfrak{B}, \mathfrak{C}$.

Durch jeden Raumpunkt geht im Allgemeinen eine einfach gesehene gerade Linie. Der Beweis hierfür ist zu führen, wie folgt. Die

Gleichungen correspondirender Ebenen sind nach 3a)

$$\left. \begin{aligned} lA + mB + nC &= 0 \\ \mathfrak{A} + m\mathfrak{B} + n\mathfrak{C} &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots 3b).$$

Beide zusammengenommen geben die Lage ihrer Schnittlinie, welche, wie schon bemerkt wurde, einfach gesehen und also eine gerade Horopterlinie wird.

Wenn man in 3a) für \mathfrak{x} , \mathfrak{y} , \mathfrak{z} die Coordinaten irgend eines beliebigen Punktes \mathfrak{E}_0 , \mathfrak{y}_0 , \mathfrak{z}_0 setzt, werden sich doch immer die Coefficienten l , m , n so bestimmen lassen, daß die beiden Gleichungen 3b) erfüllt sind. Da man durch Multiplication mit einem gemeinsamen Factor einem der Coefficienten einen beliebigen Werth geben kann, so sind nur zwei zu bestimmen, wozu die beiden Gleichungen im Allgemeinen ausreichen. Man erhält

750

$$\begin{aligned} \frac{l}{n} &= \frac{B_0 \mathfrak{C}_0 - \mathfrak{B}_0 C_0}{A_0 \mathfrak{B}_0 - \mathfrak{A}_0 B_0} \\ \frac{m}{n} &= \frac{A_0 \mathfrak{C}_0 - \mathfrak{A}_0 C_0}{\mathfrak{A}_0 B_0 - A_0 \mathfrak{B}_0} \end{aligned}$$

Dadurch sind Werthe der Verhältnisse von l , m , n bestimmt, welche den Gleichungen 3a) genügen, und zwar im Allgemeinen eindeutig, vorausgesetzt, daß die obigen Brüche nicht von der Form $\frac{0}{0}$ werden, was geschieht, wenn

$$\left. \begin{aligned} A_0 \mathfrak{C}_0 &= \mathfrak{A}_0 C_0 \\ B_0 \mathfrak{C}_0 &= \mathfrak{B}_0 C_0 \\ A_0 \mathfrak{B}_0 &= \mathfrak{A}_0 B_0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots 3c).$$

woraus dann im Allgemeinen folgt, daß auch

Wir werden später sehen, daß diese drei letzteren Gleichungen den Punkten der Horoptercurve entsprechen. Mit Ausnahme also dieser Punkte läßt sich durch jeden Punkt des Raumes eine und nur eine gerade und einfach gesehene Linie legen, durch die mittels der Gleichungen 3c) gegebenen Punkte aber beliebig viele.

Flächen zweiten Grades, auf denen die einfach gesehenen Linien liegen. Wenn man zwei Paare correspondirender Flächen hat

$$\left. \begin{aligned} l_0 A + m_0 B + n_0 C &= 0, & l_0 \mathfrak{A} + m_0 \mathfrak{B} + n_0 \mathfrak{C} &= 0 \\ l_1 A + m_1 B + n_1 C &= 0, & l_1 \mathfrak{A} + m_1 \mathfrak{B} + n_1 \mathfrak{C} &= 0 \end{aligned} \right\} \dots 4),$$

so schneiden sich die beiden rechts stehenden Flächen in einer Visirlinie, die links stehenden in der correspondirenden Visirlinie. Multiplicirt man nun die unteren Gleichungen mit einem neuen Factor k und addirt sie zu den oberen, so erhält man

$$\left. \begin{aligned} (l_0 + kl_1) A + (m_0 + km_1) B + (n_0 + kn_1) C &= 0 \\ (l_0 + kl_1) \mathfrak{A} + (m_0 + km_1) \mathfrak{B} + (n_0 + kn_1) \mathfrak{C} &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots 4a).$$

Es sind dies die Gleichungen eines dritten Paares correspondirender Flächen, welche aber ebenfalls durch dasselbe Paar Visirlinien gehen, wie die Flächen der

Gleichungen 4). Da nämlich für die Punkte der einen Visirlinie die beiden Gleichungen links unter 4) erfüllt sind, ist auch nothwendig die obere Gleichung 4a) für dieselben Punkte erfüllt, das heißt die Punkte jener Visirlinien liegen auch in der der letzteren Gleichung entsprechenden Fläche. Dasselbe gilt für die rechtsstehenden Gleichungen unter 4) und die untere unter 4a).

Die beiden Gleichungen 4a) geben zusammen eine einfach gesehene gerade Linie, da sie einzeln genommen correspondirenden Ebenen entsprechen. Lassen wir nun den Factor k sich continuirlich verändern, so wird im Allgemeinen auch die einfach gesehene gerade Linie ihre Lage verändern, und zwar in continuirlicher Weise. Alle diese geraden Linien, welche auf solche Weise durch continuirliche Änderung von k sich ergeben, werden sich zu einer Fläche zusammenschließen, deren Gleichung sich ergibt, wenn wir aus den beiden Gleichungen 4a) den Factor k eliminiren. So erhalten wir als Gleichung für die Fläche, in der die genannte Reihe einfach gesehener gerader Linien liegt:

$$[l_0 A + m_0 B + n_0 C] [l_1 \mathfrak{A} + m_1 \mathfrak{B} + n_1 \mathfrak{C}] - [l_1 A + m_1 B + n_1 C] [l_0 \mathfrak{A} + m_0 \mathfrak{B} + n_0 \mathfrak{C}] = 0$$

oder wenn wir die Multiplication ausführen:

751

$$(l_0 m_1 - l_1 m_0) [A \mathfrak{B} - \mathfrak{A} B] + (l_1 n_0 - l_0 n_1) [\mathfrak{A} C + A \mathfrak{C}] + (m_0 n_1 - m_1 n_0) [B \mathfrak{C} - \mathfrak{B} C] = 0 \dots \dots \dots 4b).$$

Da die Größen A, B, C , so wie $\mathfrak{A}, \mathfrak{B}, \mathfrak{C}$ lineare Functionen von x, y, z sind, so ist die Gleichung 4b) die einer Fläche zweiten Grades, und zwar einer solchen, in deren Oberfläche unendlich lange gerade Linien gezogen werden können. Unter den Flächen zweiten Grades lassen dies zu die Hyperboloide mit einer Mantelfläche, welche im Grenzfall in Kegel, Cylinder oder auch zwei sich schneidende Ebenen übergehen können.

Vergleichen wir nun die Gleichung 4b) mit den Gleichungen 3c), welche die Punkte geben, durch welche unendlich viele einfach gesehene gerade Linien gezogen werden können:

$$\left. \begin{aligned} A \mathfrak{C} - \mathfrak{A} C &= 0 \\ \mathfrak{B} C - B \mathfrak{C} &= 0 \\ \mathfrak{A} B - A \mathfrak{B} &= 0 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 4c),$$

so sehen wir, daß auch dies Gleichungen von Hyperboloiden sind, und zwar derselben Art, wie die Fläche 4b), welche letztere bei bestimmten Werthen der Coefficienten l, m, n in je eine der Gleichungen 4c) übergehen kann.

Nehmen wir zwei von den letzteren, zum Beispiel

$$\left. \begin{aligned} A \mathfrak{C} - \mathfrak{A} C &= 0 \\ B \mathfrak{C} - \mathfrak{B} C &= 0 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 4d),$$

so werden dieselben sich in einer Curve schneiden müssen, da sie jedenfalls zwei Punkte gemein haben, nämlich die Mittelpunkte der Visirlinien, für deren einen

$$A = B = C = 0,$$

während für den andern

$$\mathfrak{A} = \mathfrak{B} = \mathfrak{C} = 0$$

und jede dieser beiden Annahmen den beiden Flächengleichungen genügt. Außerdem ist leicht zu sehen, daß auch die Annahme

$$C = \mathfrak{C} = 0$$

den beiden Flächengleichungen genügt, das heißt, die gerade Schnittlinie der beiden Flächen $C = 0$ und $\mathfrak{C} = 0$ muß beiden Hyperboloiden angehören, also mit zu ihrer gesammten Schnittlinie gehören. Diese Schnittlinie setzt sich also zusammen aus einer geraden Linie $C = 0$, $\mathfrak{C} = 0$, und einem anderen Stück, welches im Allgemeinen eine Curve doppelter Krümmung sein wird.

Aus den beiden Gleichungen 4d) können wir \mathfrak{C} eliminiren, indem wir die obere mit B , die untere mit A multipliciren und addiren. Wir erhalten

$$(A\mathfrak{B} - \mathfrak{A}B)C = 0.$$

Wenn also C nicht gleich Null ist, so folgt aus dieser Elimination die dritte der Gleichungen 4c)

$$\mathfrak{A}B - A\mathfrak{B} = 0 \dots\dots\dots 4e).$$

Sollte C gleich Null sein, so würde nach 4d) entweder auch $\mathfrak{C} = 0$ sein müssen, oder gleichzeitig $A = B = 0$. Nur im letzteren Falle würde die Gleichung 4e) 752 gültig sein; die Bedingungen $A = B = C = 0$ gehören dem Mittelpunkte der Visirlinien des einen Auges an.

Daraus folgt, daß für die Punkte der Schnittlinie der Flächen 4d), welche nicht der geraden Linie $C = \mathfrak{C} = 0$ angehören, auch die Gleichung 4e) erfüllt ist, daß also die drei Flächen 4e) sich in ein und derselben Curve doppelter Krümmung schneiden. Je zwei der Flächen haben immer noch eine gerade Schnittlinie, die aber im Allgemeinen nicht der dritten Fläche angehört.

Wenn man nun die Gleichungen dreier Flächen hat

$$X = 0 \quad Y = 0 \quad Z = 0,$$

die eine gemeinsame Schnittlinie besitzen, so wird auch jede Fläche, deren Gleichung von der Form ist

$$lX + mY + nZ = 0,$$

durch dieselbe Schnittlinie gehen. Da nämlich für die Punkte der Schnittlinie die ersteren drei Gleichungen erfüllt sind, ist für dieselben auch nothwendig die letztere erfüllt.

Nun ist die Gleichung 4b) in der angegebenen Weise aus den drei Gleichungen 4c) zusammengesetzt. Folglich gehen alle die unendlich vielen Hyperboloide, auf denen die einfach gesehenen Linien liegen, durch die gemeinsame Schnittcurve der Gleichungen 4c).

Diese Curve ist eine sogenannte Curve dritten Grades, daß heißt, sie kann von einer und derselben Ebene in drei Punkten geschnitten werden. Da nämlich die Schnittlinie zweier Flächen zweiten Grades wie zum Beispiel der beiden Flächen 4d) im Allgemeinen vom vierten Grade ist und in vier oder zwei Punkten von einer Ebene geschnitten werden kann, einer dieser Schnittpunkte aber nothwendig der geraden Linie angehört (Parallelismus wird als Schneidung im Unendlichen betrachtet), so bleiben nur drei Schnittpunkte oder einer für die Curve. So schneidet zum Beispiel die Visirebene die Horoptercurve im Fixationspunkte und in den

Mittelpunkten beider Augen. Denkt man sich die schneidende Ebene unendlich weit entfernt, so wird sie auch in ein oder drei Punkten schneiden müssen, was dann ein oder drei Paare nach entgegengesetzten Richtungen in das Unendliche auslaufender Zweige der Curve giebt.

Die Curve dritten Grades ist Horoptercurve, das heißt, in ihr schneiden sich correspondirende Visirlinien. Die drei Gleichungen 4c) können wir nämlich auch schreiben

$$\frac{A}{\mathfrak{A}} = \frac{B}{\mathfrak{B}} = \frac{C}{\mathfrak{C}} \dots\dots\dots 4f)$$

Nun sind die Gleichungen 4) die Gleichungen zweier correspondirender Visirlinien. Nehmen wir die der einen

$$\left. \begin{aligned} l_0 A + m_0 B + n_0 C = 0 \\ l_1 A + m_1 B + n_1 C = 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots 4g)$$

und setzen voraus, daß sie durch einen Punkt der Curve dritten Grades geht, in welchem dann die Gleichungen 4f) erfüllt sind, so folgt: wenn wir die beiden Gleichungen 4g) mit $\frac{\mathfrak{A}}{A}$ multipliciren mit Berücksichtigung von 4f), daß für denselben Punkt auch sei

$$\begin{aligned} l_0 \mathfrak{A} + m_0 \mathfrak{B} + n_0 \mathfrak{C} = 0 \\ l_1 \mathfrak{A} + m_1 \mathfrak{B} + n_1 \mathfrak{C} = 0, \end{aligned}$$

daß also derselbe Punkt auch der correspondirenden Visirlinie angehört. Es 753 schneiden sich also correspondirende Visirlinien in je einem Punkte der gemeinsamen Schnittlinie der Flächen 4c). Diese ist die Horoptercurve. Daß nicht alle Stücke dieser Curve auch gleichzeitig Horopter sind, ist schon oben erwähnt worden.

Kegel zweiten Grades, welche durch die Horoptercurve gehen. Wenn die beiden correspondirenden Visirlinien der Gleichungen 4) sich in einem Punkte schneiden, der alsdann der Horoptercurve angehört, so gehen auch alle die durch die beiden Visirlinien gelegten Ebenen der Gleichungen 4a) durch denselben Punkt, folglich auch alle Schnittlinien dieser Ebenen, aus denen sich die Oberfläche zweiten Grades zusammensetzt. Eine Fläche zweiten Grades, in der ein System unendlich langer gerader Linien liegt, die alle durch einen und denselben Punkt gehen, ist ein Kegel zweiten Grades.

Jeder Punkt der Horoptercurve ist also die Spitze eines Kegels zweiten Grades, in dessen Mantel die ganze Horoptercurve liegt. Dieser Kegel kann in besonderen Fällen in einen Cylinder (Kegel mit unendlich entfernter Spitze) oder in ein Paar sich schneidender Ebenen (Kegel, dessen elliptische Basis eine unendlich lange Axe hat) übergehen.

Jede gerade Linie, welche zwei Punkte der Horoptercurve schneidet, gehört zwei solchen Kegeln an und wird also einfach gesehen.

Wenn sich einer der Kegel in ein Ebenenpaar verwandeln kann, so besteht die Horoptercurve aus einem ebenen Kegelschnitt und einer geraden Linie, die den Kegelschnitt in einem Punkte schneidet. Denn man denke sich zur Construction der Horoptercurve außer dem einen Kegel, der durch die beiden Ebenen dargestellt

wird, noch einen zweiten, dessen Spitze in einer der beiden Ebenen liegen muß, so schneiden diese sich in zwei geraden Linien und einem Kegelschnitt. Die eine Gerade aber gehört nicht zur Horoptercurve.

Einzelne Fälle. Um nun die wirkliche Berechnung der Horoptercurve in einzelnen Fällen ausführen zu können, müssen wir die Ausdrücke A, B, C und $\mathfrak{A}, \mathfrak{B}, \mathfrak{C}$ wirklich bilden als Functionen von x, y, z . Wir nehmen an, daß der Fixationspunkt der Nullpunkt dieses letztern Systems sei, die Visirebene die Ebene der x, y , die z positiv nach oben steigend. Die Halbierungslinie des Convergenzwinkels der beiden Gesichtslinien sei die Axe der x , der Convergenzwinkel selbst sei 2γ , die Entfernung des Mittelpunkts der Visirlinien im rechten Auge vom Fixationspunkte sei a , die des linken a_1 . Dann sind die Coordinaten für den Mittelpunkt der Visirlinien

$$\begin{aligned} \text{im rechten Auge:} \quad & x = a \cos \gamma, \quad y = a \sin \gamma, \quad z = 0 \\ \text{im linken Auge:} \quad & x = a_1 \cos \gamma, \quad y = -a_1 \sin \gamma, \quad z = 0. \end{aligned}$$

Nehmen wir nun ein zweites Coordinatensystem zu Hilfe: x_1, y_1, z_1 , welches gegen das erste um die z Axe und den Winkel γ gedreht ist, so daß seine x_1 Axe mit der Gesichtslinie des rechten Auges zusammenfällt, so haben wir

$$\begin{aligned} x_1 &= x \cos \gamma + y \sin \gamma \\ y_1 &= -x \sin \gamma + y \cos \gamma \\ z_1 &= z, \end{aligned}$$

was den beiden Bedingungen genügt, daß

$$x_1^2 + y_1^2 = x^2 + y^2$$

und daß für $x_1 = a, y_1 = 0$, die oben angegebenen Werthe der Coordinaten für den Mittelpunkt des rechten Auges sich finden.

754 In dem System (x_1, y_1, z_1) fällt die Axe der x_1 zusammen mit der Axe der z in dem oben in den Gleichungen 1) bis 1i) gebrauchten System der x, y, z , so daß

$$x_1 = a - z + e.$$

Das System der xyz ist gedreht gegen das erstere um den Winkel \mathcal{D} , den der Netzauthorizont mit der Visirebene macht; also ist

$$\begin{aligned} x &= y_1 \cos \mathcal{D} - z_1 \sin \mathcal{D} \\ y &= y_1 \sin \mathcal{D} + z_1 \cos \mathcal{D}, \end{aligned}$$

wobei der Winkel \mathcal{D} positiv gerechnet ist für eine Drehung des oberen Endes des senkrechten Meridians nach rechts herum, also beim Blick nach links oben und rechts unten. Demgemäß ist

$$\left. \begin{aligned} x &= -x \sin \gamma \cos \mathcal{D} + y \cos \gamma \cos \mathcal{D} - z \sin \mathcal{D} \\ y &= -x \sin \gamma \sin \mathcal{D} + y \cos \gamma \sin \mathcal{D} + z \cos \mathcal{D} \\ z &= -x \cos \gamma - y \sin \gamma + a + e \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 5).$$

Daraus bilden sich nun nach Gleichungen 3) mit Berücksichtigung von 1 h) und 1 i), sowie der dort vorausgeschickten Festsetzungen, die Ausdrücke:

$$\left. \begin{aligned} A &= y = -x \sin \gamma \sin \vartheta + y \cos \gamma \sin \vartheta + z \cos \vartheta \\ B &= x \cos \varepsilon - y \sin \varepsilon \\ &= -x \sin \gamma \cos (\vartheta + \varepsilon) + y \cos \gamma \cos (\vartheta + \varepsilon) - z \sin (\vartheta + \varepsilon) \\ C &= z - e = a - x \cos \gamma - y \sin \gamma \end{aligned} \right\} \dots\dots 5a).$$

In ähnlicher Weise finden sich die Ausdrücke \mathfrak{A} , \mathfrak{B} , \mathfrak{C} , wenn ϑ_1 der Radrehungswinkel für das linke Auge ist:

$$\left. \begin{aligned} \mathfrak{A} &= +x \sin \gamma \sin \vartheta_1 + y \cos \gamma \sin \vartheta_1 + z \cos \vartheta_1 \\ \mathfrak{B} &= x \sin \gamma \cos (\vartheta_1 - \varepsilon) + y \cos \gamma \cos (\vartheta_1 - \varepsilon) - z \sin (\vartheta_1 - \varepsilon) \\ \mathfrak{C} &= a_1 - x \cos \gamma + y \sin \gamma \end{aligned} \right\} \dots\dots 5b).$$

Vereinfachte Formen der Horoptercurve. Solche finden sich namentlich in den Fällen, wo ein Paar correspondirender Ebenen ganz in einander fällt. Dann schneidet sich nämlich nothwendig jede in dieser Ebene liegende Visirlinie des einen Auges mit der correspondirenden des andern und giebt einen Punkt der Horoptercurve, der in der Ebene liegt. Sollten die Visirlinien parallel laufen, so geben sie unendlich entfernte Punkte dieser Curve. Dann ist also ein Theil der Horoptercurve eine ebene Curve oder eine gerade Linie. Ist das erstere der Fall, und machen wir irgend einen Punkt dieser Curve zum Mittelpunkt eines durch die Horoptercurve gelegten Kegels, so wird ein Theil dieser Kegelfläche eine Ebene, der Rest der Kegelfläche kann dann nur eine zweite Ebene sein. Denn nur der Grenzfall, wo der Kegel in zwei sich schneidende Ebenen übergeht, erlaubt, daß ein Theil der Kegeloberfläche eben sei. Wenn diese anderen Ebenen, die nicht durch die dem Horopter angehörige ebene Curve gehen, eine gemeinsame Schnittlinie haben, so kann diese nur eine gerade Linie sein, die durch einen Punkt der erwähnten ebenen Curve gehen muß. Zugleich folgt, daß die Curve eine Curve zweiten Grades sein muß, denn nur unter dieser Bedingung können die Kegel, welche ihre Spitze in der geraden Linie haben, Kegel zweiten Grades sein.

Ist zweitens die Schnittcurve der correspondirenden Visirlinien eine gerade Linie, so folgt, daß jeder Kegel, der einen außerhalb dieser geraden Linie liegenden Theil der Horoptercurve zur Spitze hat, einen ebenen Theil hat, folglich aus zwei Ebenen besteht, und daß daher der Rest der Horoptercurve eine ebene Curve sein müsse.

Auch ist leicht einzusehen, daß, wenn die Horoptercurve aus einer geraden Linie und einem Kegelschnitt besteht, die Augenmittelpunkte in dem letzteren liegen müssen und die Ebene desselben ein correspondirendes und zusammenfallendes Ebenenpaar beider Augen darstellt. Denn es kann nicht ein Auge in der Curve, ein anderes in der geraden Linie liegen; sonst würde ein Bündel von Visirlinien des ersteren, welches nach den Punkten der Curve geht und daher in einer Ebene liegt, im zweiten in einer gekrümmten Kegeloberfläche liegen, was nicht angeht. Und sollten beide Augen in der geraden Linie liegen, so müßte diese ein Paar correspondirender Visirlinien vertreten, und giebt es dann außerhalb dieser geraden Linie noch irgend einen Punkt der Horoptercurve, z. B. den Fixationspunkt, so wäre die durch ihn und die Augen gelegte Ebene Vertreterin eines correspondirenden Ebenenpaares und müßte eine Horoptercurve enthalten.

Die Bedingung für die Zusammensetzung der Horoptercurve aus einem ebenen Kegelschnitt und einer diesen schneidenden geraden Linie ist also, daß es Werthe von l , m , n giebt, für welche die Gleichungen

$$lA + mB + nC = 0$$

$$l\mathfrak{A} + m\mathfrak{B} + n\mathfrak{C} = 0$$

identisch werden. Bringt man mittels der Gleichungen 5a) und 5b) diese Gleichungen auf die Form

$$f\xi + f_1\eta + f_2\zeta + f_3 = 0$$

$$g\xi + g_1\eta + g_2\zeta + g_3 = 0,$$

so muß sein

$$\frac{f}{g} = \frac{f_1}{g_1} = \frac{f_2}{g_2} = \frac{f_3}{g_3}.$$

Der letzte Bruch ist unabhängig von l , m , n ; in den drei ersten sind Zähler und Nenner lineare Functionen von l , m , n . Indem man jeden der drei ersten Brüche dem letzten gleich setzt, erhält man drei lineare Gleichungen für l , m , n ohne constantes Glied, und daraus folgt, daß die Determinante der Coefficienten von l , m , n gleich Null sein muß. Dies giebt eine Gleichung zwischen den Größen a , a_1 , \mathfrak{A} , \mathfrak{A}_1 und γ , welche erfüllt sein muß, wenn die Horoptercurve die oben angegebene Gestalt erhalten soll. Es ist nicht nöthig, diese Rechnung hier durchzuführen, da uns nur diejenigen Stellungen der Augen näher interessiren, die nach dem LISTING'schen Gesetze möglich sind.

Geometrisch läßt sich die Bedingung hierfür folgendermaassen ausdrücken. Bezeichnen wir die Linie, welche die beiden Mittelpunkte der Visirlinien verbindet, mit F . Diese Linie kann sowohl als eine der Visirlinien des rechten Auges, wie als eine des linken betrachtet werden. Im ersteren Sinne muß es zu ihr eine correspondirende Visirlinie H im linken Auge geben, im zweiten Sinne eine correspondirende G im rechten Auge. Wenn G und H sich schneiden, so liegen sie mit F in einer Ebene, welche dann für beide Augen correspondirend liegt, da zwei Paar correspondirender Visirlinien in ihr liegen, F und G für das rechte, F und H für das linke Auge. Bei jeder Stellung der Augen wird es also möglich sein, durch Drehung des einen um seine Gesichtslinie eine Stellung herbeizuführen, welche der Horoptercurve die gewünschte einfache Gestalt giebt.

756 Für Augen, welche dem Gesetze von LISTING folgen, symmetrisch gebildet sind und deren Netzhauthorizonte bei parallelen Blicklinien in der Visirebene liegen, ist es klar, daß die genannte Bedingung erfüllt ist, erstens bei den symmetrischen Stellungen der Augen, wo die Linien G und H auch symmetrisch liegen und sich daher in der Medianebene schneiden müssen, zweitens wenn die Visirebene sich in ihrer Primärstellung befindet, weil dann die einander correspondirenden Netzhauthorizonte in ihr liegen. Es sind dies übrigens theoretisch nicht die einzigen Fälle der Art, sondern es würden für Augen, die dem LISTING'schen Gesetze genau folgen, in nach unten und seitlich gerichteten Stellungen noch gewisse sehr große Entfernungen des Fixationspunktes existiren, in denen die Visirebene für beide Augen correspondirend wäre und daher eine ebene Ellipse als Horoptercurve enthalten müßte. Von irgend welcher praktischer Wichtigkeit sind aber diese Fälle

nicht, da bei sehr großen Entfernungen des Fixationspunktes überhaupt die Beobachtungen über die Lage der einfach gesehenen Punkte zu unbestimmt werden. In Augen, wo die Abweichung der scheinbar verticalen Meridiane fehlt, rücken die erwähnten Lagen des Fixationspunktes in unendliche Entfernung hinaus.

Mit Auslassung kleiner Größen ist in solchen Fällen die Entfernung ρ des Fixationspunktes von dem Mittelpunkte eines mitten zwischen den Augen gelegenen ideellen Auges, wenn α der Erhebungswinkel, γ der Seitenwendungswinkel dieses Auges wäre, a der halbe Abstand der wirklichen Augen, ε die halbe Abweichung der scheinbar verticalen Meridiane von einander

$$\rho = \pm \frac{a \cos \gamma}{\sin \varepsilon \sin \beta \cos \beta}$$

$$\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2}.$$

In der Nähe der Medianebene, wo $\gamma = 0$ und in der Nähe der Primärlage der Visirebene, wo $\alpha = 0$, wird $\beta = 0$ und ρ unendlich lang. Positive Werthe hat es nur für ein negatives α , also unterhalb der Visirebene.

Wir wollen jetzt die beiden erst erwähnten Fälle behandeln, in denen der Horopter aus einer geraden Linie und einer ebenen Curve besteht, Fälle, welche eine gewisse Wichtigkeit für die Beobachtungen haben.

A. Der Fixationspunkt liegt in der Medianebene in unendlicher Entfernung. Dann wird in den Gleichungen 5a) und 5b)

$$a = a_1 \quad \mathcal{J} = -\mathcal{J}_1$$

$$\left. \begin{aligned} A &= -x \sin \gamma \sin \mathcal{J} + y \cos \gamma \sin \mathcal{J} + z \cos \mathcal{J} \\ B &= -x \sin \gamma \cos (\mathcal{J} + \varepsilon) + y \cos \gamma \cos (\mathcal{J} + \varepsilon) - z \sin (\mathcal{J} + \varepsilon) \\ C &= a - x \cos \gamma - y \sin \gamma \\ \mathcal{A} &= -x \sin \gamma \sin \mathcal{J} - y \cos \gamma \sin \mathcal{J} + z \cos \mathcal{J} \\ \mathcal{B} &= x \sin \gamma \cos (\mathcal{J} + \varepsilon) + y \cos \gamma \cos (\mathcal{J} + \varepsilon) + z \sin (\mathcal{J} + \varepsilon) \\ \mathcal{C} &= a - x \cos \gamma + y \sin \gamma \end{aligned} \right\} \dots 6).$$

Zusammenfallende correspondirende Ebenen finden sich, wenn wir setzen

$$A \sin \gamma + C \cos \gamma \sin \mathcal{J} = 0$$

$$\mathcal{A} \sin \gamma + \mathcal{C} \cos \gamma \sin \mathcal{J} = 0,$$

denn beide Gleichungen geben identisch, vorausgesetzt, daß nicht $\sin \gamma$ und $\sin \mathcal{J}$ gleichzeitig gleich Null sind:

$$x \sin \mathcal{J} - z \sin \gamma \cos \mathcal{J} - a \cos \gamma \sin \mathcal{J} = 0 \dots \dots \dots 6a).$$

Dies ist also die Ebene des Kegelschnitts. Ferner wird für

$$y = 0 \text{ und } x \sin \gamma \cos (\mathcal{J} + \varepsilon) = -z \sin (\mathcal{J} + \varepsilon) \dots \dots \dots 6b)$$

$$A = \mathcal{A} = -x \sin \gamma \sin \mathcal{J} + z \cos \mathcal{J}$$

$$B = \mathcal{B} = 0$$

$$C = \mathcal{C} = a - x \cos \gamma.$$

Also sind die Punkte der durch die Gleichungen 6b) gegebenen geraden Linie für beide Augen correspondirend, und jene Linie ist die gerade Horopterlinie.

Ihr parallel müssen die Kanten des Cylinders sein, auf dem die Horopterlinie liegt, und diejenigen Ebenen, die sich in den Cylinderkanten schneiden. Bildet man die Gleichung der correspondirenden Ebenen:

$$A \cos \gamma \sin (\vartheta + \varepsilon) - C \sin \gamma \cos \varepsilon = 0$$

$$\mathfrak{A} \cos \gamma \sin (\vartheta + \varepsilon) - \mathfrak{C} \sin \gamma \cos \varepsilon = 0,$$

so reduciren sich diese für $\eta = 0$ auf

$$\frac{a \operatorname{tang} \gamma \cos \varepsilon}{\cos \vartheta} - \mathfrak{z} \sin \gamma \cos (\vartheta + \varepsilon) - \mathfrak{z} \sin (\vartheta + \varepsilon) = 0.$$

Ihre Schnittlinie ist also, wie man aus der Vergleichung mit 6b) sieht, der geraden Horopterlinie parallel und liegt wie diese in der Medianebene.

Andererseits schneiden sich in der geraden Horopterlinie gemäß 6b) die Ebenen

$$B = \mathfrak{B} = 0$$

und die correspondirenden Ebenen

$$A \cos \gamma \sin (\vartheta + \varepsilon) + \alpha B - C \sin \gamma \cos \varepsilon = 0$$

$$\mathfrak{A} \cos \gamma \sin (\vartheta + \varepsilon) + \alpha \mathfrak{B} - \mathfrak{C} \sin \gamma \cos \varepsilon = 0$$

schneiden sich also ebenfalls in Linien, die der geraden Horopterlinie parallel sind. Eliminirt man aus ihnen α , so erhält man

$$(A\mathfrak{B} - B\mathfrak{A}) \cos \gamma \sin (\vartheta + \varepsilon) - (\mathfrak{B}C - B\mathfrak{C}) \sin \gamma \cos \varepsilon = 0$$

als Gleichung des Cylinders. Diese Gleichung reducirt giebt:

$$\left. \begin{aligned} \frac{a^2 \sin^2 \gamma \cos^2 \varepsilon}{4 \cos^2 \gamma \cos^2 \vartheta} = \eta^2 \left[\sin^2 \gamma \cos^2 (\vartheta + \varepsilon) + \frac{\sin \vartheta \cdot \sin 2(\vartheta + \varepsilon)}{2 \cos \vartheta} \right] \\ + \left[\mathfrak{z} \sin \gamma \cos (\vartheta + \varepsilon) + \mathfrak{z} \sin (\vartheta + \varepsilon) - \frac{a \sin \gamma \cos \varepsilon}{2 \cos \gamma \cos \vartheta} \right]^2 \end{aligned} \right\} . 6c).$$

Es ist dies die Gleichung eines Cylinders, welcher die Ebenen $\mathfrak{z} = \text{Const.}$ schneidet in Kegelschnitten, deren \mathfrak{z} Axe stets reell ist, nämlich

$$X = \frac{a \cos \varepsilon}{2 \cos \gamma \cos \vartheta \cos (\vartheta + \varepsilon)}.$$

758 Die η Axe dagegen ist dies nicht nothwendig, ihr Quadrat ist

$$Y^2 = \frac{a^2 \operatorname{tang}^2 \gamma \cos^2 \varepsilon}{4 \cos \vartheta \cos (\vartheta + \varepsilon) [\sin^2 \gamma \cos (\vartheta + \varepsilon) \cos \vartheta + \sin \vartheta \sin (\vartheta + \varepsilon)]}.$$

In diesem Ausdrucke werden $\cos \vartheta$ und $\cos (\vartheta + \varepsilon)$ für die ausführbaren Augenbewegungen immer positiv sein. Wenn aber $\operatorname{tang} \vartheta \operatorname{tang} (\vartheta + \varepsilon)$ negativ wird und sein absoluter Werth dabei größer als der von $\sin^2 \gamma$, so wird Y imaginär und der Schnitt eine Hyperbel. Da ε der Regel nach einen kleinen positiven

Werth hat, so muß \mathcal{J} zu diesem Zwecke noch kleinere negative Werthe haben, was nur bei abwärts gerichteten Gesichtslinien und weiter Entfernung des Fixationspunktes eintreten kann.

Die Y Axe dieses in der Visirebene liegenden Kegelschnitts fällt mit der ebenen Horoptercurve zusammen; um die mediane Axe der letzteren zu finden, setze man den Werth von \mathfrak{z} aus der Gleichung 6a) in 6c) und zugleich $\eta = 0$, so kann man für das eine und andere Ende der betreffenden Axe die Coordinaten $\mathfrak{x}_0, \mathfrak{z}_0$ und $\mathfrak{x}_1, \mathfrak{z}_1$ finden. Die Größe der stets reellen Axe X_1 ist dann gegeben durch die Gleichung

$$X_1^2 = \frac{1}{4} (\mathfrak{x}_1 - \mathfrak{x}_0)^2 + \frac{1}{4} (\mathfrak{z}_1 - \mathfrak{z}_0)^2$$

$$= \frac{a^2 \sin^2 \gamma \cos^2 \varepsilon (\sin^2 \gamma \cos^2 \mathcal{J} + \sin^2 \mathcal{J})}{4 \cos^2 \gamma \cos^2 \mathcal{J} [\sin^2 \gamma \cos \mathcal{J} \cos (\mathcal{J} + \varepsilon) + \sin \mathcal{J} \cdot \sin (\mathcal{J} + \varepsilon)]^2}$$

und es findet sich

$$\frac{X_1^2}{Y^2} = \frac{\sin^2 \gamma + \tan^2 \mathcal{J}}{\sin^2 \gamma + \tan \mathcal{J} \cdot \tan (\mathcal{J} + \varepsilon)}.$$

Man kann zur Construction der Horoptercurve statt des bisher betrachteten Cylinders auch den Kegel des Verticalhoropters

$$B\mathcal{C} - \mathfrak{B}C = 0$$

benutzen, oder

$[\mathfrak{x} \sin \gamma \cos (\mathcal{J} + \varepsilon) + \mathfrak{z} \sin (\mathcal{J} + \varepsilon)] [a - \mathfrak{x} \cos \gamma] - \eta^2 \cos \gamma \sin \gamma \cos (\mathcal{J} + \varepsilon) = 0$
für $\mathfrak{z} = 0$, das heißt in der Visirebene, ist die Schnittlinie ein Kreis, gegeben durch folgende Gleichung:

$$\left(\mathfrak{x} - \frac{a}{2 \cos \gamma} \right)^2 + \eta^2 = \frac{a^2}{4 \cos^2 \gamma}.$$

Dieser Kreis geht durch die Punkte

$$\mathfrak{x} = 0 \qquad \eta = 0$$

$$\mathfrak{x} = \frac{a}{\cos \gamma}, \qquad \eta = 0$$

$$\mathfrak{x} = a \cos \gamma \qquad \eta = a \sin \gamma$$

$$\mathfrak{x} = a \cos \gamma \qquad \eta = - a \sin \gamma.$$

Die zwei ersten sind der Fixationspunkt und der ihm diametral gegenüber liegende Punkt, die beiden andern sind die Mittelpunkte beider Augen. Dadurch ist dieser Kreis gegeben.

Der Kegel schneidet die Medianebene, $\eta = 0$, in den beiden Linien

$$\mathfrak{x} \sin \gamma \cos (\mathcal{J} + \varepsilon) = - \mathfrak{z} \sin (\mathcal{J} + \varepsilon)$$

$$\mathfrak{x} \cos \gamma = a.$$

Ersteres ist die gerade Horopterlinie, die zweite ist senkrecht zur Visirebene und schneidet diese in dem dem Fixationspunkt diametral gegenüberliegenden Punkte des Kreises. Die Ordinaten der Spitze des Kegels sind also

$$\begin{aligned} x &= \frac{a}{\cos \gamma} \\ z &= -a \operatorname{tang} \gamma \cdot \operatorname{cotang} (\vartheta + \varepsilon). \end{aligned}$$

Um die Lage der betreffenden Linien und Ebenen zu finden für Augen, welche dem Gesetze von LISTING folgen, setzen wir den Erhebungswinkel zwischen der Primärlage der Visirebene und ihrer actuellen Lage gleich β , und haben dann

$$\operatorname{tang} \vartheta = \frac{\sin \gamma \sin \beta}{\cos \gamma + \cos \beta} \dots \dots \dots 7).$$

Die Gleichung 6 a) für die Ebene der Horoptercurve wird dann

$$(x - a \cos \gamma) - z \frac{\cos \gamma + \cos \beta}{\sin \beta} = 0 \dots \dots \dots 7 a).$$

Die Gleichungen für die Primärriichtung der Gesichtslinien sind unter diesen Umständen:

$$y = \pm a \sin \gamma \text{ und } z = (x - a \cos \gamma) \operatorname{tang} \beta \dots \dots \dots 7 b).$$

Die Gleichungen für die actuellen Lagen der Blicklinien sind

$$z = 0 \text{ und } y = \pm x \operatorname{tang} \gamma \dots \dots \dots 7 c).$$

Der Fixationspunkt ist auf den letzteren Linien in der Entfernung a von den Mittelpunkten der Augen. Schneiden wir auch auf den Linien 7 b) einen Punkt in der Entfernung a vom Mittelpunkte des betreffenden Auges ab, so sind dessen Coordinaten

$$x = a (\cos \gamma - \cos \beta), \quad y = \pm a \sin \gamma, \quad z = -a \sin \beta \dots \dots \dots 7 d).$$

Die Coordinaten eines Punktes dagegen, der in der Mitte zwischen diesem Punkte 7 d) und dem Fixationspunkte liegt, für welchen letzteren

$$x = 0 \quad y = 0 \quad z = 0$$

sind halb so groß als die Coordinaten 7 d), also

$$x = \frac{1}{2} a (\cos \gamma - \cos \beta), \quad y = \pm \frac{1}{2} a \sin \gamma, \quad z = -\frac{1}{2} a \sin \beta \dots \dots 7 e).$$

Diese letzteren Werthe erfüllen nun die Gleichung 7 a) und es liegen also die beiden Punkte 7 e) in der Ebene der Horoptercurve.

Die Ebene des Kegelschnitts, der der Horoptercurve angehört, wird also bei medianem Fixationspunkte gefunden, wenn man die Winkel, welche die primäre und

die actuelle Lage jeder Blicklinie bilden, halbirt und durch die Halbiringlinie eine Ebene legt. Dieser Umstand ist bei der Construction auf Seite 865, *Fig. 249*, benutzt.

Wenn man ferner durch den Mittelpunkt jedes Auges eine Ebene legt, senkrecht zu der Verbindungslinie desselben Punktes mit dem zugehörigen Punkte der Gleichungen 7e), so ist deren Gleichung

$$(x - a \cos \gamma)(\cos \gamma + \cos \beta) - (a \sin \gamma \mp \eta) \sin \gamma + \zeta \sin \beta = 0 \dots \dots \dots 7f).$$

Nimmt man hierzu noch die Gleichung einer Ebene, welche in der Entfernung $-a \sin \gamma \cotang \epsilon$ unterhalb der Primärlage der Visirebene 7d) liegt und deren Gleichung ist:

$$\zeta \cdot \cos \beta + a \cotang \epsilon \cdot \sin \gamma = (x - a \cos \gamma) \sin \beta \dots \dots \dots 7g),$$

so ergibt sich, daß die Ebenen, welche durch die gerade Horopterlinie gehen, nämlich

$$x \sin \gamma + \zeta \tang (\vartheta + \epsilon) = 0, \quad \eta = 0$$

und die beiden Ebenen 7f) und 7g) durch einen Punkt gehen, da die Werthe von $x \eta \zeta$ aus je drei dieser Gleichungen, mit Berücksichtigung von 7) in die vierte gesetzt, diese identisch machen. Darauf beruht die Construction der geraden Horopterlinie oben in *Fig. 250*.

B. Fixationspunkt in der Mittelebene in unendlicher Entfernung. Eine besondere Untersuchung verdient noch der Fall, wenn $\sin \gamma$ und $\sin \vartheta$ gleichzeitig gleich Null sind, ein Fall, den wir oben bei der Gleichung 6a) von der Untersuchung ausschließen mußten. Es sind alsdann die Gesichtslinien einander parallel in die Ferne gerichtet. Die Entfernung a des Fixationspunktes und die Coordinate x wird unendlich groß, aber die Größe $a \sin \gamma$, welche die halbe Entfernung der Augen ist, bleibt constant, wir wollen sie mit b bezeichnen, und $x - a$ mit ξ . Dann wird

$$\begin{aligned} A &= \zeta & \mathfrak{A} &= \zeta \\ B &= -b \cos \epsilon + \eta \cos \epsilon - \zeta \sin \epsilon & \mathfrak{B} &= b \cos \epsilon + \eta \cos \epsilon + \zeta \sin \epsilon \\ C &= -\xi & \mathfrak{C} &= -\xi. \end{aligned}$$

Dann sind also die Bedingungen der Correspondenz, daß

$$A = \mathfrak{A}, \quad B = \mathfrak{B}, \quad C = \mathfrak{C}$$

vollständig erfüllt für alle Punkte, für welche

$$b \cos \epsilon + \zeta \sin \epsilon = 0.$$

Dies sind die Punkte einer Ebene, die in der Entfernung $-b \cotang \epsilon$ unterhalb der Visirebene liegt. Diese bildet also in diesen Fällen den Horopter.

C. Der Fixationspunkt liegt in der Primärlage der Visirebene. Nach dem LISTING'schen Gesetze wird

$$\vartheta = \vartheta_1 = 0$$

und also nach 5a) und 5b)

$$\left. \begin{aligned} A &= \mathfrak{z} \\ B &= -x \sin \gamma \cos \varepsilon + \eta \cos \gamma \cos \varepsilon - \mathfrak{z} \sin \varepsilon \\ C &= a - x \cos \gamma - \eta \sin \gamma \\ \mathfrak{A} &= \mathfrak{z} \\ \mathfrak{B} &= x \sin \gamma \cos \varepsilon + \eta \cos \gamma \cos \varepsilon + \mathfrak{z} \sin \varepsilon \\ \mathfrak{C} &= a_1 - x \cos \gamma + \eta \sin \gamma \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots 8).$$

761 Der Kegel

$$A\mathfrak{C} - \mathfrak{A}C = 0$$

wird

$$\mathfrak{z} [a_1 - a + 2\eta \sin \gamma] = 0 \dots\dots\dots 8a)$$

und zerfällt also in die beiden Ebenen

$$\mathfrak{z} = 0 \text{ und } \eta = \frac{a - a_1}{2 \sin \gamma} \dots\dots\dots 8b).$$

Die Fläche

$$A\mathfrak{B} - \mathfrak{A}B = 0$$

wird

$$2\mathfrak{z} [x \sin \gamma \cos \varepsilon + \mathfrak{z} \sin \varepsilon] = 0$$

und zerfällt also in die beiden Ebenen

$$\mathfrak{z} = 0 \text{ und } x \sin \gamma + \mathfrak{z} \tan \varepsilon = 0 \dots\dots\dots 8c).$$

Die Fläche endlich

$$B\mathfrak{C} - \mathfrak{B}C = 0$$

wird

$$\begin{aligned} - (x \sin \gamma \cos \varepsilon + \mathfrak{z} \sin \varepsilon) (a_1 + a - 2x \cos \gamma) + 2\eta^2 \cos \gamma \sin \gamma \cos \varepsilon \\ + (a_1 - a) \eta \cos \gamma \cos \varepsilon = 0, \end{aligned}$$

was die Gleichung eines Hyperboloids ist. Die Schnittlinie desselben mit der Ebene $\mathfrak{z} = 0$ ist

$$\left(x - \frac{a + a_1}{4 \cos \gamma}\right)^2 + \left(\eta + \frac{a_1 - a}{4 \sin \gamma}\right)^2 = \frac{1}{4} \cdot \frac{a^2 + a_1^2 - 2aa_1 \cos 2\gamma}{(\sin 2\gamma)^2}$$

ein Kreis, welcher durch die Punkte

$$\begin{aligned} x &= 0 & \eta &= 0 \\ x &= a \cos \gamma & \eta &= a \sin \gamma \\ x &= a_1 \cos \gamma & \eta &= -a_1 \sin \gamma \end{aligned}$$

hindurchgeht, der MÜLLER'sche Horopterkreis.

Die gerade Linie des Horopters ist demgemäß die durch die beiden unter 8 b) und 8 c) aufgeführten Gleichungen gegebene Linie

$$\eta = \frac{a - a_1}{2 \sin \gamma} \quad \text{und} \quad \chi \sin \gamma + \beta \tan \varepsilon = 0.$$

Ihr Schnittpunkt mit der Visirebene liegt auch im Horopterkreise, sie läuft der Medianebene $\eta = 0$ parallel. Die Entfernung des Schnittpunktes von den beiden Augenmittelpunkten ist die gleiche, nämlich

$$\frac{\sqrt{a^2 - 2aa_1 \cos 2\gamma + a_1^2}}{2 \sin \gamma} = \frac{b}{\sin \gamma},$$

wenn wir die halbe Distanz der Augen von einander mit b bezeichnen. Macht man

$$\chi = \frac{b}{\sin \gamma},$$

so wird

$$\beta = -\frac{b}{\tan \varepsilon}.$$

Diese letztere Größe ist aber die Entfernung der Horopterfläche unter der Visirebene, wenn beide Gesichtslinien der Medianebene parallel sind, und so ergibt sich die oben angegebene Construction der geraden Horopterlinie.

Geschichtliches. Die Frage über den Grund des Einfach- und Doppelsehens ist schon sehr alt. Schon GALENUS¹ (geb. 113 p. C.) machte zur Erklärung des ersteren die Annahme, daß sich Sehnervenfasern im Chiasma der Sehnerven verbinden. Dieser anatomischen Hypothese schlossen sich später an I. NEWTON,² ROHAULT,³ HARTLEY,⁴ W. H. WOLLASTON,⁵ JOH. MÜLLER.⁶ Eine zweite Ansicht suchte die Schwierigkeit durch die Annahme zu beseitigen, daß wir immer nur mit einem Auge auf einmal sähen. Dieser Meinung war PORTA.⁷ Ihm schlossen sich GASSENDI,⁸ TACQUET, GALL und DU TOUR⁹ an. Letzterer berief sich dabei namentlich auf die Phänomene des Wettstreits zwischen beiden Gesichtsfeldern und beschränkte die Annahme auch dahin, daß bald gleichzeitig mit beiden Augen, bald nur mit einem gesehen werden sollte.

Die dritte davon verschiedene Ansicht war die sogenannte Projectionstheorie, wobei das Einfachsehen für einen Act unseres Verständnisses der Gesichtsempfindungen erklärt wird. In ihrem Sinne äußert sich schon KEPLER;¹⁰ mit ihm gleichzeitig stellte AGUILONIUS¹¹ die Theorie auf, daß wir die Gesichtsbilder immer auf eine gewisse durch den Fixationspunkt gehende Ebene projecirten, die er den Horopter nannte, und daß sie einfach oder doppelt erschienen, je nachdem ihre Projection einfach oder doppelt

¹ GALENUS, *De usu partium*. Lib. X. cap. 12.

² I. NEWTON, *Opticks*. 1717. p. 320. Query 15.

³ ROHAULT, *Traité de physique*. Paris 1671 und 1682. Part. I, cap. 31.

⁴ HARTLEY, *Observations on man*. I, 207.

⁵ W. H. WOLLASTON, *Phil. Trans.* 1824. I, 222.

⁶ J. MÜLLER, *Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns*. Leipzig 1826.

⁷ PORTA, *De refractione*. p. 142. 1593.

⁸ GASSENDI, *Opera*. Vol. II, p. 395.

⁹ TACQUET, GALL und DU TOUR, *Acta Paris*. 1743. p. 334. *Mém. des savants étranger*. III, 514. IV 499. V 677.

¹⁰ KEPLER, *Dioptrice*. Propos. LXII.

¹¹ AGUILONIUS, *Opticorum Libri VI*. Antwerp. 1613.

wäre. Näher an KEPLER'S Ansicht schließt sich PORTERFIELD an, indem er meint, wir sähen die Objecte nicht doppelt, weil jedes Auge sie an ihren richtigen Platz verlegt; was später dann so formulirt wurde, daß wir sie in den Kreuzungspunkt der Visirlinien verlegen. In dieser Form ausgesprochen, würde das Gesetz mit der Existenz der Doppelbilder im Widerspruch sein. PORTERFIELD erwähnt wohl solche, die bei einer durch Druck oder Zerrung herbeigeführten Zwangsstellung des Auges eintreten, setzt hier aber voraus, daß ein Irrthum über die Stellung des Auges stattfinde.

Diese drei Ansichten liegen auch den neueren Theorien meist mehr oder weniger vermischt zu Grunde; ein wesentlicher Fortschritt geschah aber durch genauere Untersuchungen der tatsächlichen Verhältnisse.

Das Gesetz der Erscheinungen wurde zuerst genauer und im Wesentlichen richtig von J. MÜLLER¹ formulirt, indem er das Einfachsehen und Doppeltsehen davon abhängig machte, ob sich die Bilder des betreffenden Punktes auf identische oder nicht identische Punkte beider Netzhäute entwerfen. Für die Lage der identischen Punkte gab er die der Hauptsache nach richtige Regel, daß sie von der Mitte der Netzhäute in gleicher Richtung gleich weit entfernt lägen. Er spricht sich dabei nicht mit Bestimmtheit für eine besondere anatomische Hypothese (Vereinigung der identischen Fasern im Chiasma der Sehnerven oder im Gehirn) aus, behauptet aber, der Grund der Identität müsse ein organischer sein.

Genauere Bestimmungen der Lage der identischen oder correspondirenden Punkte wurden später namentlich von VOLKMANN² gegeben. Mit der beobachteten Lage der identischen Punkte war aber die Annahme des AGUILONIUS, daß der Horopter eine Ebene sei, unverträglich. Schon VIETH³ und JOH. MÜLLER hatten eingesehen, daß sein Schnitt mit der Visirebene ein durch den Fixationspunkt und die beiden Augen gehender Kreis sein müsse. Später zeigten A. P. PREVOST⁴ und BURCKHARDT, daß in den Augenstellungen ohne Raddrehung zu dem MÜLLER'Schen Kreise noch eine gerade Linie komme, daß der Horopter also überhaupt im Allgemeinen keine Fläche sei. HERING⁵ erwies, daß der Horopter im Allgemeinen immer eine Linie sein müsse; damit war seine Bedeutung im Sinne des AGUILONIUS aufgehoben. Die allgemeine Lösung des Horopterproblems, welche noch die Kenntnifs des Augenbewegungsgesetzes erfordert und übrigens eine rein mathematische Aufgabe war, habe ich selbst und Herr E. HERING fast gleichzeitig gegeben.⁶ Daran schließt sich dann noch eine Arbeit von

¹ J. MÜLLER, *Beiträge zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinns*. Leipzig 1826. p. 71. *Lehrbuch der Physiologie*. 1840. II, 376—87.

² A. W. VOLKMANN, *Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik*. Zweites Heft. Leipzig 1864.

³ VIETH, *Gilbert's Annalen*. LVIII, 233.

⁴ A. P. PREVOST, *Essai sur la théorie de la vision binoculaire*. Genève 1843; und *Poggendorff's Annalen*. 1844. Bd. LXII, S. 548.

⁵ HERING, *Beiträge zur Physiologie*. Heft III, S. 196—199. Leipzig 1863. Heft IV, 1864.

⁶ Meine erste Mittheilung wurde gemacht der naturhistorisch-medicinischen Gesellschaft zu Heidelberg am 24. October 1862, das Manuscript eingereicht am 8. November 1862. Darin sind zum ersten Male Zeichnungen für die Form des Horopters im allgemeinen Falle gegeben, freilich noch nicht in ihrer einfachsten Form, indem er als Schnittlinie einer Fläche zweiten und einer vierten Grades ausgedrückt ist. Auch ist darin noch nicht die Abweichung der scheinbar verticalen Meridiane berücksichtigt. Die Gestalt des Horopters im allgemeinen Falle ist darin kurz beschrieben. Ehe diese nur als vorläufige betrachtete Mittheilung durch den Druck veröffentlicht war (Herbst 1863), erschien das 3. Heft der Beiträge zur Physiologie von Herrn E. HERING, worin der Nachweis geführt war, daß der Horopter jedenfalls immer mindestens eine Linie (wenn nicht Fläche) sein müsse, die Gestalt desselben aber nur für die schon früher behandelten einfacheren Fälle wirklich bestimmt war. Dann folgte mein Aufsatz über den Horopter im Archiv für Ophthalmologie X, 1, S. 1—60, dessen Correctur schon Mitte März 1864 vollendet war, worin der Horopter als Schnittlinie zweier Flächen zweiten Grades dargestellt und der Einfluß der Abweichung der scheinbar verticalen Meridiane erörtert ist. Ohne Kenntnifs dieser Arbeit zu haben, hat Herr E. HERING im Juni 1864 sein 4. Heft zum Druck gesendet, welches ebenfalls die Rückführung auf die Schnittlinie zweier Flächen zweiten Grades enthält mit Benutzung der hierzu sehr geeigneten STEINER'Schen Geometrie. Die dabei gegen meine erste Arbeit gerichtete Kritik beruht wesentlich auf dem Mißverständnisse, daß ich von dem geredet habe, was ich oben Horopter, Herr HERING von dem, was ich die Horoptercurve genannt habe, und daß beides nicht ganz identisch ist, wie ich in Poggendorff's Annalen CXXIII S. 158—161 auseinandergesetzt habe. Endlich enthält das

H. HANKEL,¹ in welcher eine ausführlichere analytische Behandlung des Problems gegeben ist, aber ohne Berücksichtigung der hier sehr einflussreichen Abweichung der scheinbar verticalen Meridiane.

Daneben ist dann seit WHEATSTONE's Erfindung des Stereoskops die Aufmerksamkeit der Forscher hauptsächlich mit der Verschmelzung der Doppelbilder beschäftigt gewesen, weil sich an diese namentlich die theoretischen Fragen anknüpfen über die Art des Zusammenwirkens beider Augen. Diese theoretischen Fragen können wir erst am Schlusse des nächsten Paragraphen besprechen. Den großen Einfluss, welchen die Bewegung der Augen auf die Verschmelzung der disparaten Bilder körperlicher Objecte und stereoskopischer Zeichnungen habe, zeigte zunächst BRÜCKE;² dafs dagegen eine solche Verschmelzung auch bei absoluter Vermeidung aller Augenbewegungen doch auch vorkommen kann (wenn auch in viel geringerem Grade), bewies DOVE³ durch Anwendung der elektrischen Beleuchtung, Beobachtungen, welche später durch VOLKMANN,⁴ AUGUST⁵, RECKLINGHAUSEN⁶ mit abgeänderten Methoden wiederholt und bestätigt wurden. Über die Grenze und die Bedingungen der Verschmelzung enthalten namentlich die Arbeiten von PANUM⁷ und VOLKMANN⁸ eine große Menge sorgfältig gemachter Beobachtungen⁷⁶⁴ und Messungen. Der viel bestrittene Versuch von WHEATSTONE, wonach die Eindrücke identischer Punkte zur Ausfüllung verschiedener Stellen des Anschauungsbildes von den wahrgenommenen körperlichen Objecten gebraucht werden können, wurde einerseits bestätigt durch NAGEL⁹ und WUNDT.¹⁰ Andererseits wurde dagegen hervorgehoben, dafs man bei hinreichender Aufmerksamkeit und Anwendung passender Mittel, um die Doppelbilder leichter sichtbar zu machen, auch immer die Bilder getrennt sehen könne, von VOLKMANN,¹¹ E. HERING,¹² W. BEZOLD.¹³ Dafs beides nicht nothwendig im Widerspruch steht, habe ich oben erörtert.

§ 32. Wettstreit der Sehfelder.

In den beiden vorausgehenden Paragraphen haben wir gesehen, dafs⁷⁶⁶ wir beim unbefangenen zweiäugigen Sehen Bilder körperlicher Objecte in den Raum vor uns projiciren, dafs wir aber auch andererseits, wenn wir auf das gemeinschaftliche Gesichtsfeld unserer Augen als solches achten, die

5. Heft von HERING's Beiträgen wieder eine Kritik meiner zweiten Arbeit, aus der ich nur einen Punkt (S. 350) erwähnen will, in welchem Herr HERING in der That Recht hat; dafs nämlich auf S. 44 meiner Abhandlung der Winkel η allgemein gleich η_1 gesetzt worden ist. Es ist das eine Flüchtigkeit, die mir bei der letzten, vor einer Reise sehr eilig gemachten Überarbeitung des Aufsatzes untergelaufen ist, in dem Streben die mathematische Abtheilung möglichst zusammenzudrängen. Ich hatte vorher die beiden Fälle, in denen jene Behauptung richtig ist, einzeln behandelt und der Fehler hat also auch weiter keinen Einfluss auf die Richtigkeit der Consequenzen. Die übrigen Ausstellungen, welche Herr HERING macht, haben theils nur persönliches Interesse, und werden von Lesern, die sich für dergleichen interessieren sollten, ohne weitere Erörterungen meinerseits leicht erledigt werden, theils können sie nur durch vielfach wiederholte Beobachtungen vieler Individuen entschieden werden. Was ich von solchen habe beibringen können, ist oben geschehen.

¹ H. HANKEL, *Poggendorff's Annalen*. CXXII, 575—588.

² BRÜCKE, *Müller's Archiv für Anatomie und Physiologie*. 1841. S. 459.

³ DOVE, *Monatsber. d. Berl. Akad.* 1841, 29. Juli.

⁴ VOLKMANN, *Leipz. Berichte*. 1859, S. 90—98.

⁵ AUGUST, *Poggendorff's Annalen*. CX, 532—593.

⁶ RECKLINGHAUSEN, *Ebenda*. CXIV, 170—173.

⁷ PANUM, *Physiologische Untersuchungen über das Sehen mit zwei Augen*. Kiel 1858; und in *Reichert und Du Bois-Reymond's Archiv*. 1861. 63—227.

⁸ VOLKMANN, *Archiv für Ophthalmologie*. II, 2, 1—100; und *Physiologische Untersuchungen im Gebiete der Optik*. Heft II.

⁹ NAGEL, *Das Sehen mit zwei Augen*. Leipzig und Heidelberg 1861.

¹⁰ WUNDT, *Heule und Pfeuffer Zeitschr. für ration. Medicin*. (3) XII, 249.

¹¹ VOLKMANN, *Archiv für Ophthalmologie*. II, 2, S. 72—86.

¹² E. HERING, *Beiträge zur Physiologie*. Heft II, S. 81—131.

¹³ W. BEZOLD, *Sitzungsber. d. Bayrischen Akad. d. Wissensch.* Math. Phys. Klasse. 10. Dec. 1864.

beiden verschiedenen perspectivischen Projectionen, welche von den Objecten auf unseren Netzhäuten entworfen werden, als einander superponirt in der Fläche des gemeinsamen Gesichtsfeldes erblicken können. Die erste Art des Sehens tritt vorzugsweise ein beim Sehen körperlicher Objecte, wenn unsere Aufmerksamkeit den Gegenständen zugewendet ist. Wir wenden dann immer die Gesichtslinien beider Augen demjenigen Objecte zu, auf welches sich unsere Aufmerksamkeit zur Zeit richtet, und wir sehen dieses also immer einfach und deutlich, und die ferner oder näher liegenden Gegenstände, welche zur Zeit im mehr oder weniger indirecten Sehen doppelt erscheinen könnten, bleiben unbeachtet. Um Doppelbilder zu sehen, müssen wir auf unsere Gesichtseindrücke als solche achten und zu abstrahiren suchen von den wahrgenommenen Objecten. Am ungestörtesten werden die Doppelbilder und die entsprechenden Erscheinungen der Congruenz oder Incongruenz der einzelnen Punkte beider Sehfelder beobachtet, wenn man nicht nach wirklichen Objecten hinsieht, sondern nach zwei verschiedenen Zeichnungen mit verschiedenartig gefärbten oder erleuchteten Linien und Feldern, wie dergleichen von uns gebraucht wurden, um die correspondirenden Stellen der Gesichtsfelder zu finden.

In den bisherigen Fällen waren die Doppelbilder, welche gesehen wurden, mehr oder weniger ähnlich den Bildern, welche man gelegentlich von einem und demselben äußeren Objecte erhalten kann, und uns deshalb geläufig und bekannt als Zeichen eines nicht im Horopter liegenden Objectes, so dafs wir mittels derselben sogar die Entfernung des ihnen entsprechenden Objectes noch annähernd richtig beurtheilen konnten.

767 Wir haben nun noch die Fälle zu untersuchen, wo beide Gesichtsfelder gefüllt sind mit ganz verschiedenartigen Formen, welche keine Combination zu dem Bilde eines Körpers zulassen. In solchen Fällen sieht man im Allgemeinen beide Bilder gleichzeitig und im Gesichtsfelde einander superponirt. Aber gewöhnlich herrscht in einzelnen Theilen des Gesichtsfeldes mehr das eine Bild vor, in anderen mehr das andere; und unter Umständen wechselt das auch, so dafs, wo eine Zeit lang nur Theile des einen Bildes sichtbar waren, nun die Theile des anderen hervortreten und jene ersteren verdrängen. Diesen Wechsel, in welchem die Theile beider Bilder bald neben einander, bald nach einander sich gegenseitig verdrängen, pflegt man den Wettstreit der Sehfelder zu nennen.

Am einfachsten und regelmäfsigsten sind diejenigen Fälle, wo das eine Sehfeld in ganzer Ausdehnung gleichmäfsig gefärbt oder erleuchtet ist; man bemerkt dann nur die Objecte, welche das andere Sehfeld enthält. Wenn man also zum Beispiel ein Auge schliesst und mit dem anderen das bedruckte Blatt ansieht, so sieht man die Buchstaben und das weisse Papier im Sehfelde, ohne das Dunkel des anderen Sehfeldes zu bemerken. Dabei ist zu beachten, dafs das Papier dabei nicht gerade entschieden dunkler aussieht, als wenn man es mit beiden Augen betrachtet. Das Schwarz des einen Feldes mischt sich also nicht mit dem Weifs des

anderen, sondern hat eben weiter gar keinen Einfluß auf die Erscheinung des anderen Bildes.

Ebenso ist es nun, wenn man das bisher verschlossene Auge öffnet und ein Blatt weissen Papiers nahe davorhält, so daß das bisher dunkle Sehfeld gleichmässig weifs beleuchtet wird. Auch dann sieht man die Buchstaben im anderen Felde unverändert, und wenn das gleichmässig weisse Papier nicht heller ist als das bedruckte, so erscheint letzteres auch nicht heller, wenn das andere Sehfeld gleichmässig weifs, als wenn es gleichmässig schwarz ist. Wenn man sich aber so wendet, daß das weisse vor das eine Auge gehaltene Papier lebhaft von der Sonne beschienen wird, so erhält man allerdings beim Öffnen des betreffenden Auges den Eindruck, daß das bedruckte Papier heller wird, wenn das andere Sehfeld erleuchtet wird, als wenn es dunkel bleibt.

Ähnlich verhält es sich nun auch, wenn nur gröfsere Theile des einen Sehfeldes gleichmässig beleuchtet, in dem entsprechenden Theile des anderen aber Figuren enthalten sind. Betrachtet man zum Beispiel die folgenden Buchstaben

A B B C

so, daß die beiden *B* auf einander fallen und einfach gesehen werden, so erscheinen sie wie

A B C

und zwar so, daß das *A* und *C* nicht merklich dunkler sind, als das doppel-
 äugig gesehene *B*. In diesem Falle also ist links vom *B* nur das linke
 Gesichtsfeld beachtet worden, welches das *A* enthält, und rechts vom *B* tritt
 das *C* des rechten Sehfeldes hervor, während der gleichmässig weisse
 Grund des anderen Feldes sich nicht merklich geltend macht. 768

Wenn nun in beiden Sehfeldern breitere schwarz und weisse Figuren
 vorkommen, deren Grenzlinien in dem gemeinsamen Sehfelde sich gegen-
 seitig durchschneiden, so ergiebt sich im Allgemeinen die Regel, daß längs
 und in der Nähe jeder Grenzlinie dasjenige Sehfeld prädominirt, dem diese
 Grenzlinie angehört. Bringt man also zum Beispiel die beiden schwarzen
 Streifen der *Fig. V, Taf. VIII*, zum Decken, so daß die weissen Punkte in
 ihrer Mitte zusammenfallen, so entsteht ein Gesamtbild, wie es *Fig. 252*
 etwa darstellt. Die beiden Streifen erscheinen als Kreuz, dessen Mitte ganz
 schwarz ist, weil hier Schwarz und Schwarz sich decken. Der Grund
 erscheint weifs, weil auf ihm Weifs und Weifs sich decken. In den vier
 Schenkeln des Kreuzes deckt sich jedesmal Weifs des einen Feldes mit
 Schwarz des anderen; sie erscheinen aber keineswegs gleichmässig erhellt
 durch eine Mischung dieses Schwarz und Weifs. Vielmehr sind sie fast
 ganz schwarz an ihren Enden, wo sie an den weissen Grund stossen, und

fast ganz weiß, wo sie an das mittlere schwarze Quadrat stoßen, und dazwischen sind Übergänge des Schwarz in Weiß, die aber keineswegs eine ruhige Beleuchtungsart behalten und sich deshalb auch durch keinerlei bildliche Darstellung vollkommen wiedergeben lassen, sondern mannigfach wechseln. Das Ende jedes Streifens fällt zusammen mit einem Theil des gleichmäßig weißen Grundes des andern Gesichtsfeldes, und verdrängt diesen, so daß es fast ganz schwarz erscheint. Nahe der Mitte jedes Streifens aber laufen über ihn die Grenzlinien des anderen aus dem anderen Sehfeld hin, und hier tritt also das Weiß des anderen Feldes längs der Grenzlinie auf dem Schwarz des erstgenannten Streifens deutlich hervor.

In den bisher betrachteten Fällen standen sich immer gegenüber eine Figur mit bestimmten Contouren und ein ganz leeres gleichmäßiges Feld. Dabei zeigte sich, daß die Contouren sich immer sichtbar machen und den Eindruck des leeren Feldes verdrängen. Setzen wir nun statt des ganz

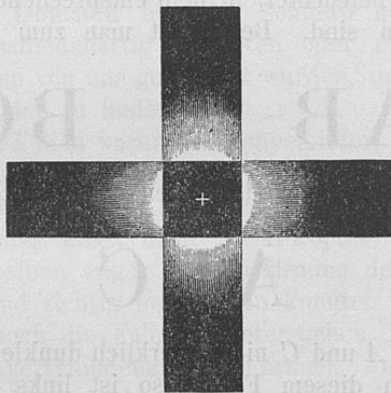


Fig. 252.

769 leeren Feldes ein solches, welches ein feines gleichmäßig wiederholtes Linienmuster enthält, richten wir zum Beispiel das linke Auge auf das schwarze Kreuz der *Fig. W, Taf. VIII*, und gleichzeitig das rechte auf das carrirte Feld, so überwiegt im ersten Augenblick auch hier in der Regel das Kreuz so, als ob wir es auf einen reinen Grund projecirten, und nur in seiner Mitte und jenseits seines Umfanges wird vielleicht das Linienmuster sichtbar. Betrachten wir es ohne bestimmte Richtung unserer Aufmerksamkeit längere Zeit in dieser Weise, so tritt zeitweilig das Linienmuster auch wohl über das ganze Feld hervor und verdeckt das ganze Kreuz oder wenigstens einzelne Theile desselben. Dagegen muß ich hervorheben, daß ich mich jeden Augenblick im Stande finde, meine Aufmerksamkeit jedem Theile des Linienmusters, auch denen, die gerade auf den Rand des Kreuzes fallen, willkürlich und ausschließlichs zuzuwenden, und daß ich dann nur das Linienmuster sehe, während das Kreuz meist ganz schwindet. Ich brauche nur eine Reihe von Quadraten des Linienmusters zu zählen, oder die Quadrate zu vergleichen, ob sie gleich groß, ob sie rechtwinkelig sind und so weiter.

Während und so lange ich in dieser Weise meine Aufmerksamkeit fest auf die Quadrate fixe, bleiben sie mir auch im Gesicht. So wie ich im Gegentheil eine Ecke oder Seite des Kreuzes in ähnlicher Weise beobachte, verschwindet das Linienmuster mehr oder weniger vollständig, und ich sehe anhaltend das Kreuz.

Der Wettstreit wird noch auffallender, wenn die beiden sich deckenden Figuren gleich stark hervortretende Contouren haben. Bringt man zum Beispiel die beiden Linienpaare der *Fig. 253* zum Decken, so pflegen die meisten Beobachter im Anfang nur die senkrechten Linien an der Kreuzungsstelle zu sehen, während die horizontalen im Zwischenraum der Verticallinien oder auch selbst noch außerhalb dieses Zwischenraums verschwinden. Bei längerem Fixiren tauchen sie von Zeit zu Zeit auf, während dafür die verticalen verschwinden und umgekehrt. Aber auch hier kann ich beliebig das Bild des einen oder anderen Paares festhalten, wenn ich meine Auf-

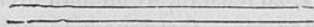


Fig. 253.

merksamkeit darauf richte und etwa untersuche, ob irgend welche Unregelmäßigkeiten an den Linien des einen oder anderen Paares vorkommen.

In complicirter Weise zeigt sich derselbe Wettstreit an den mit verschieden gerichteten parallelen Linien bedeckten Feldern der *Fig. X, Taf. VIII*. Man sieht hier keine gleichmäßige Kreuzung der Linien in dem Gesamtbilde, wodurch ein ähnliches Linienmuster, wie das der *Fig. W* derselben Tafel, sich zusammensetzen würde; sondern man sieht meist eine ungleichmäßige Mischung beider Muster, so daß an einzelnen Stellen des Feldes das eine, an anderen das andere vorherrscht, wobei diese Stellen selbst übrigens einem fortdauernden Wechsel unterworfen sind. Die schwarzen Quadrate in der Mitte der Felder sollen als Fixationszeichen dienen, wenn der Beobachter eine unveränderte Lage beider Felder über einander zu erhalten wünscht. Ohne einzelne correspondirende und stark hervorstechende Theile der Figur ist dies sonst gar nicht möglich, vielmehr schwanken die Blicklinien dann fortdauernd zwischen verschiedenen Graden der Convergenz hin und her.

Zuweilen tritt auch wohl in ganzer Ausdehnung der Fläche das eine

System allein für kurze Zeit auf. Auch hier finde ich, daß ich vollkommen willkürlich im Stande bin, meine Aufmerksamkeit bald dem einen, bald dem anderen Liniensysteme zuzuwenden, und daß dann dieses System für einige Zeit allein gesehen wird und das andere vollkommen verschwindet. Dies geschieht zum Beispiel, wenn ich versuche die Linien erst des einen und dann des anderen Systems zu zählen. Ich finde ferner, daß dieses Beachten des einen Liniensystems auch nicht von bestimmten Augenbewegungen abhängig ist; denn ich kann meinen Blick sowohl an den Linien, auf die ich achte und die ich sehe, entlang gleiten lassen, als auch rechtwinkelig gegen ihre Richtung und also parallel der Richtung des anderen Systems fortführen, so daß ich von einer Linie zur anderen gehe, ohne daß ich aufhöre, nur das System zu sehen, welches ich sehen will. Aber allerdings finde ich, wie WUNDR, daß es leichter ist, das Bild derjenigen Linien festzuhalten, deren Richtung man mit dem Blicke folgt; in der That ist dies auch die gewöhnliche Art unsere Aufmerksamkeit einer Linie zuzuwenden, daß wir den Blick an ihr entlang laufen lassen, und indem wir die Bewegung unserer Augen absichtlich nach der Linie richten, sind wir auch sicher, unsere Aufmerksamkeit an die Linie zu fesseln.

Es ist aber allerdings schwer, die Aufmerksamkeit längere Zeit an eines der Liniensysteme von *Fig. W, Taf. VIII*, zu fesseln, wenn man nicht damit irgend einen bestimmten Zweck verbindet, der eine fortdauernde active Thätigkeit der Aufmerksamkeit bedingt, wie eben das Zählen der Linien oder die Vergleichung ihrer Zwischenräume und so weiter ist. Ein anhaltender Ruhezustand der Aufmerksamkeit ist ja auch unter anderen Verhältnissen kaum für einige Zeit zu unterhalten. Der natürliche ungezwängte Zustand unserer Aufmerksamkeit ist herumzuschweifen zu immer neuen Dingen, und so wie das Interesse eines Objectes erschöpft ist, so wie wir nichts Neues mehr daran wahrzunehmen wissen, so geht sie wider unseren Willen auf anderes über. Wollen wir sie an ein Object fesseln, so müssen wir eben an diesem selbst immer Neues zu finden suchen, besonders wenn andere kräftige Sinnesindrücke sie abzulenken streben. Durch diese Eigenthümlichkeit unserer psychischen Thätigkeit erklären sich, wie mir scheint, die oben beschriebenen Thatsachen.

Die letztgenannten Versuche kann man vielfach variiren; wenn man zum Beispiel das quadratische Muster der *Fig. W, Taf. VIII*, mit einem 771 danebengelegten Blatte bedruckten Papiers zur Deckung bringt, kann man ohne Schwierigkeit die Buchstaben lesen oder andererseits das Linienmuster betrachten. Dasselbe ist der Fall, wenn man eine fein ausgeführte Landkarte oder eine Photographie mit einem bedruckten Blatte zum Decken bringt; es müssen nur nicht die Zeichnungen der einen Seite durch Helligkeit allzu hervorstechend sein gegen die der anderen Seite, und auch einander nicht zu ähnlich. Wenn man zum Beispiel zwei verschiedene Druckblätter mit gleicher Art von Druck combinirt, so verbindet der Beobachter unwillkürlich Theile der einen Parthie von Buchstaben mit solchen der

anderen Seite doppeläugig, und dadurch mischen sich dann die Buchstaben beider Seiten leicht durch einander.

Ich will namentlich hier auch noch hervorheben, dafs es mir gelingt, ganz schwache und zart gezeichnete Objecte des einen Sehfeldes zu sehen und dauernd zu beobachten, selbst wenn sie sich mit sehr kräftig gezeichneten Contouren des anderen Feldes decken. So kann ich die Faserung und die kleinen Fleckchen eines weissen Papierblattes verfolgen, während im anderen Felde stark gezeichnete schwarze Figuren stehen. Oder ich kann eine mit einem dünnen weissen Blatte zugedeckte und kaum erkennbare Druckschrift lesen, welche sich binocular etwa mit dem Gitter oder dem Kreuze der *Fig. W, Taf. VIII*, deckt. Oder ich kann mittels eines Spiegels, den ich vor das eine Auge halte, das helle Bild des Fensters zur binocularen Deckung mit einer verhältnifsmäfsig schwach erleuchteten Druckschrift bringen und diese lesen, ohne dafs sie mir jemals durch das viel hellere Bild des Fensters verdrängt wird. Natürlich kann ich ebenso gut das Spiegelbild des Fensters betrachten, wobei mir die Druckschrift verschwindet. Dafs man bei einem solchen Versuche sehr schwach beleuchtete Objecte des einen Feldes nicht immer erkennen kann, wenn das andere Auge auf ein sehr helles Feld gerichtet ist, findet seine Erklärung dadurch, dafs die Pupillen beider Augen unter dem Einflusse des hellen Lichts sich verengern und das Netzhautbild des dunkleren Feldes also wirklich noch sehr viel dunkler wird, als es ist, wenn das helle Bild verdeckt wird.

Aus den beschriebenen Erfahrungen geht hervor, dafs der Mensch die Fähigkeit hat, die Bilder jedes einzelnen Sehfeldes einzeln und für sich wahrzunehmen, ungestört von dem anderen Sehfelde, wenn es nur mittels eines der angegebenen Hilfsmittel gelingt, die Aufmerksamkeit ganz auf die Objecte dieses einen Feldes zu fesseln. Diese Thatsache ist wichtig, weil aus ihr hervorgeht, dafs der Inhalt jedes einzelnen Sehfeldes, ohne durch organische Einrichtungen mit dem des anderen verschmolzen zu sein, zum Bewusstsein gelangt, und dafs die Verschmelzung beider Sehfelder in ein gemeinsames Bild, wo sie vorkommt, also ein psychischer Act ist.

Um den Unterschied recht hervorzuheben, brauchen wir nur zu vergleichen die binoculare Verschmelzung der beiden schrägen und verschieden gerichteten Liniensysteme der *Fig. X, Taf. VIII*, mit der monocularen Vereinigung beider in dem Liniensysteme der *Fig. W*. Wir können auch in dem letzteren die Linien des einen Systems zählen oder ihre Abstände vergleichen, dabei werden aber niemals die Linien des anderen Systems aus dem Bilde verschwinden, wie dies bei der binocularen Vereinigung unter diesen Bedingungen der Regel nach geschieht. Bei monocularer Betrachtung des combinirten Liniensystems der *Fig. W* haben wir nur einen sinnlichen Eindruck, den wir durch keine Anstrengung der Aufmerksamkeit verändern können, wenn wir auch diese oder jene Züge desselben vorzugsweise beachten. Verschmolzen die beiden entsprechenden Bilder der *Fig. X* wirklich

zu einem einzigen und einfachen sinnlichen Eindrücke, so würde dieser durch Anstrengung der Aufmerksamkeit allein in keiner Weise in seine Bestandtheile zu zerlegen sein. Charakteristisch ist es auch, daß wenn man mittels einer unbelegten Glasplatte im monocularen Gesichtsfelde das Bild des hellen Himmels mit einem bedruckten Blatte zum Decken bringt, man bei gewissen Beleuchtungsgraden die Buchstaben nicht lesen kann, während man sie sehr wohl lesen kann, wenn man binocular den sehr viel stärkeren Reflex einer belegten Spiegelplatte mit ihnen zur Deckung bringt.

Der Wettstreit der Sehfelder, wie er sich bei binocularer Verschmelzung der obigen Bilder entwickelt, entspricht dem hin und herschwankenden Zustande der nicht angestregten und nicht interessirten Aufmerksamkeit, die von einem Eindruck zum anderen zu wandern pflegt und so allmählich eine Übersicht der vorliegenden Objecte gewinnt. Daß dieser Wechsel nicht auf einer organischen Einrichtung des Nervensystems beruht, wie PANUM und E. HERING es auffassen, wenigstens auf keiner anderen, als die unseren Seelenthätigkeiten zu Grunde liegt, scheint mir evident aus der Thatsache der Selbstbeobachtung hervorzugehen, daß wir durch die bekannten und oben genannten rein psychischen Mittel, die Aufmerksamkeit zu fesseln, das Schwanken sogleich anhalten können, ohne daß dabei irgend eine bemerkbare Änderung der äußeren Umstände, der Richtung oder Bewegung der Augen und so weiter, stattfindet. PANUM hat darin Recht, daß es nicht genügt, die Aufmerksamkeit auf das verschwindende oder verschwundene Bild richten zu wollen, wobei er die Aufmerksamkeit für eine dem bewußten Willen des Beobachters absolut unterthänige Thätigkeit erklärt. Das letztere ist nun doch nur in gewisser Beschränkung richtig. Wir bewegen unsere Augen auch willkürlich, aber ein Ungeübter kann die Absicht, sie convergiren zu lassen, nicht so unmittelbar ausführen. Wohl aber kann er in jedem Moment die Absicht ausführen, ein nahes Object anzublicken, wobei die Augen convergiren. Ebenso wenig können wir die Absicht unsere Aufmerksamkeit an einem bestimmten Objecte festzuhalten, wenn wir uns diese Absicht in dieser Form innerlich aussprechen, erreichen, sobald das Interesse an dem Objecte erschöpft ist; aber wir können uns neue Fragen in Bezug auf das Object stellen, so daß ein neues Interesse daran entsteht, und dann wird die Aufmerksamkeit gefesselt bleiben. Das Verhältniß ist also, wie bei dem oben genannten Beispiele; es ist keine unmittelbare, sondern eine mittelbare Willkür. Wir können durch unsern Willen Acte ausführen, bei denen das Auge oder die Aufmerksamkeit die Richtung erhält, die wir wünschen, obgleich wir nicht durch einen direct darauf gerichteten Willensact ohne Zwischenglieder die Richtung des Auges oder der Aufmerksamkeit bestimmen können. Dagegen trifft allerdings, wie ich wiederum gegen PANUM behaupten muß, die andere charakteristische Eigenschaft der

773 Aufmerksamkeit auch für den Wettstreit der Sehfelder zu, daß sie durch geeignete Methoden an die allerschwächsten Sinneseindrücke gefesselt werden kann, während die allerstärksten im anderen Sehfelde sie abzulenken streben.

Natürlich ist dabei desto grössere Anstrengung nöthig, je ungünstiger das Verhältniß der Stärke für die beachteten Eindrücke ist.

Da wir nun übrigens, wie die oben beschriebenen Versuche mit momentaner Beleuchtung deutlich zeigen, im Stande sind gleichzeitig eine gewisse Anzahl von Gegenständen zu beachten und dadurch einen gewissen Theil des Sehfeldes auszufüllen, so wird auch hierbei im Allgemeinen zu erwarten sein, daß sich zunächst das Gesichtsfeld füllt mit denjenigen Objecten, die den stärkeren Eindruck machen, oder daß bei gleich starken Reizen in beiden Sehfeldern ein Schwanken eintritt, oder ein Suchen nach einem zusammenhängenden und verständlichen Eindrucke, wobei denn nicht nothwendig immer im ganzen Gesichtsfelde nur der Eindruck des einen Auges vorzuherrschen braucht. Charakteristisch für dieses Suchen nach einem verständlichen Eindrucke ist auch das fortdauernde Schwanken der Blicklinien. Es ist kaum möglich, die beiden Bilder in gleicher Lage dauernd in Deckung zu halten.

Etwas Anderes ist es, wenn sich die beiden verschiedenen Bilder als sinnliches Zeichen eines äußeren Objects betrachten lassen, dann wendet sich die Aufmerksamkeit sogleich der Wahrnehmung von diesem zu, ohne der Verschiedenheit der beiden Netzhautbilder zugelenkt zu werden.

Was nun den merkwürdigen Einfluß der Contouren in dem Wettstreit der Sehfelder betrifft, so bin ich ebenfalls der Meinung, daß derselbe im Wesentlichen auf psychischer Gewöhnung beruht. Erwägen wir nämlich, in welcher Weise unser Auge das Gesichtsfeld zu durchmustern hat, um eine vollständige Kenntniß desselben zu erhalten, so ist klar, daß es ganz unnütze Mühe sein würde, dasselbe nach einander auf alle einzelnen Punkte einer ausgedehnten gleichmäßig beleuchteten Fläche richten zu wollen; wir würden dadurch nichts weiter erkennen. Es genügt vielmehr den Blick über die Grenze der Fläche hinzuführen und auf alle diejenigen einzelnen Punkte zu richten, die sich von der Fläche abheben. Sobald dies geschehen ist, haben wir eine so genaue Kenntniß von der Fläche, als das Auge uns geben kann. Es sind deshalb namentlich die im indirecten Sehen sichtbaren Contouren, denen wir bei der Durchmusterung des Gesichtsfeldes erst unsere Aufmerksamkeit und dann unsern Blick zuzuwenden haben. Es ist bekannt, wie schwer es ist, einen kleinen Gegenstand, der im indirecten Sehen nicht bemerkt wird, auf einer ausgedehnten hellen Fläche aufzufinden; bezeichnend nennt zum Beispiele GOETHE die Lerche „im blauen Raum verloren“. Andererseits zieht ein etwas größerer und auch für das indirecte Sehen hinreichend scharf gezeichneter Gegenstand unmittelbar unseren Blick auf sich, und wenn man sich selbst bei der Betrachtung eines noch unbekanntes Objects beachtet, wird man leicht bemerken, wie man mit dem Blicke den Contouren folgt. Gewöhnung und Übung müssen also nothwendig dahin wirken, unsere Aufmerksamkeit den Contouren zuzuwenden. Auch bei den Contrasterscheinungen habe ich darauf aufmerksam gemacht, wie die Contouren namentlich in das Gewicht fallen.

Man könnte auch daran denken, daß die Erregung der Netzhauttheile längs einer Grenze von Weiß und Schwarz lebhafter sei, so oft durch die Bewegungen des Auges Elemente der Netzhaut aus dem Schwarz in das Weiß rücken. Diese ausgeruhten Elemente würden allerdings stärker erregt werden, als die schon länger von Weiß getroffenen. Indessen glaube ich nicht, daß dieser Umstand hier wesentlich in Betracht kommt, weil wir bei den oben beschriebenen Versuchen die Richtung der Augenbewegungen ohne entscheidenden Einfluß gefunden haben, und weil die Contouren in den Doppelbildern sich auch gleich beim ersten Aufschlag der Augen geltend machen, wo noch keine Nachbilder entwickelt sein können.

PANUM'S Annahme dagegen, daß die Contouren an und für sich die Netzhaut stärker erregen, scheint mir durch keine einzige sichere Thatsache unterstützt und zur Erklärung der hier vorliegenden Erscheinungen gänzlich unnöthig zu sein. Bei den Contrasterscheinungen haben wir allerdings gesehen, daß der Unterschied der Beleuchtung oder Färbung zweier Felder längs einer Contour, wo beide zusammenstoßen, stärker hervortritt als wenn beide von einander getrennt sind, und sogar relativ zu groß erscheint. Wenn wir aber von den Nachbildern absehen, so lassen sich die Erscheinungen des simultanen Contrastes darauf zurückführen, daß wir besser geübt und sicherer sind in der Vergleichung der Beleuchtung zweier neben einander liegenden Netzhautpunkte, welche bei den Bewegungen des Auges viel häufiger unmittelbar hinter einander von derselben Beleuchtung getroffen werden, als dies bei entfernteren der Fall ist. Daß uns ein solcher Unterschied relativ zu groß erscheint und dadurch dann Irrthümer in der Beurtheilung der Färbungen entstehen, entspricht der allgemeinen Regel, daß wir überhaupt deutlich wahrnehmbare Unterschiede für größer zu halten geneigt sind, als undeutlich wahrnehmbare. Man könnte einen solchen deutlicher wahrnehmbaren Unterschied vielleicht als einen stärkeren psychischen Reiz bezeichnen, und es mag zum Theil darin begründet sein, daß er die Aufmerksamkeit stärker zu fesseln strebt. Einen stärkeren Nervenreiz dabei anzunehmen, vorausgesetzt, daß Nachbilder vermieden werden, sehe ich keinen Grund.

Ähnliche Erscheinungen des Wettstreits treten nun auch ein, wenn beiden Augen verschiedenfarbige oder verschieden erleuchtete Felder dargeboten werden. Wenn man durch zwei verschiedenfarbige Gläser von lebhaften Farben, zum Beispiel mit dem rechten Auge durch ein rothes, mit dem linken durch ein blaues Glas, welche ungefähr gleiche Helligkeit haben, nach den äußeren Objecten sieht, so erblickt man diese fleckig roth und blau und zwar so, daß die Farben oft wechseln. Der unruhige sonderbare Farbenwechsel ist anfangs meist am lebhaftesten, bald stumpft sich die Empfindlichkeit für die Farben ab und das Aussehen wird dann ein ruhigeres in einer unbestimmten mehr grauen Farbe, welche noch stellenweise und zeitweise zwischen einem röthlicheren oder blauerem Tone wechselt, und welche manche Beobachter für die Mischfarbe aus den beiden vereinigten, also in diesem Falle für Rosa erklären. Ich selbst muß sagen, daß ich

trotz vieler und mannigfach veränderter Versuche in keinem Falle die Mischfarbe mit einiger Evidenz habe sehen können. Zum Theil bestimmen auch die Eigenthümlichkeiten der Objecte, ob man mehr die eine oder die andere Farbe sieht. Hellere Objecte erscheinen überwiegend roth, dunklere blau, wohl deshalb, weil überhaupt bei größerer Lichtstärke Roth, bei schwächerer Blau in der Empfindung überwiegt. Objectiv rothe Objecte erscheinen natürlich auch roth, blaue blau, weil ein jedes durch das gleichnamige Glas gesehen heller erscheint, als durch das anders gefärbte. Auch hier spielt wieder die Aufmerksamkeit auf das eine oder andere Feld eine merkliche Rolle. Obgleich es sehr schwer ist, die Aufmerksamkeit gerade nur der Farbe des einen Feldes zuzuwenden, wenn sie dabei nicht unterstützt ist durch Contouren, die diesem Felde angehören, so gelingt es doch einzelnen Beobachtern (FUNKE,¹ J. DINGLE, VOELCKERS,² VOLKMANN,³ E. A. WEBER,⁴ WELCKER,⁵ mir selbst), die Aufmerksamkeit auf das rechte Auge und was es sieht, und dann ebenso auf das linke zu fixiren, wobei denn auf den Objecten die Farbe des zugehörigen Glases zum Vorschein kommt. FECHNER,⁶ dem der Wechsel durch willkürliche Anstrengung weniger gut gelang, glaubt diesen Wechsel von einer unwillkürlichen Bewegung oder Compression des Auges ableiten zu dürfen, welche nach seinen Beobachtungen nur überhaupt den Wechsel der Farbe begünstige, aber nicht gerade den Wechsel in der beabsichtigten Richtung. Sehr viel besser noch gelingt der Versuch, wenn man die Gläser so hält, daß Spiegelbilder schwach erleuchteter, seitwärts liegender Gegenstände von ihnen in das Auge geworfen werden. So wie man nun die Aufmerksamkeit einem dieser Spiegelbilder zuwendet, sei es ein noch so schwach sichtbares Schattenbild, so erscheint sogleich an der betreffenden Stelle des Sehfeldes die Farbe des betreffenden Glases. Und wenn in derselben Stelle des Gesichtsfeldes gleichzeitig ein Spiegelbild des andern Glases sichtbar ist und man wendet diesem die Aufmerksamkeit zu, so tritt auch die andere Farbe hervor.

Um diesen Versuch methodisch auszuführen, stellte ich eine blaue und rothe Glasplatte (*B* und *R* in *Fig. 254*) senkrecht auf einen Tisch; *C* ist ein dunkler Schirm, der an der nach *B* gekehrten Seite ein mit Buchstaben bedrucktes Blatt trägt, *D* ein eben solcher, an dessen innerer Seite irgend ein anderes mit den Buchstaben nicht leicht zu verwechselndes Muster, also etwa eine Zahlentabelle angebracht ist. Bei

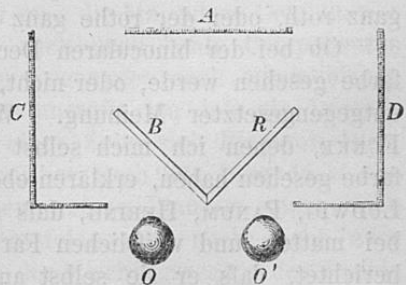


Fig. 254.

¹ FUNKE, *Lehrbuch der Physiologie*. 1. Aufl. Bd. II, 875.

² VÖLCKERS, *Müllers Archiv*. 1838. p. 61 und 63.

³ VOLKMANN, *Neue Beiträge zur Physiologie des Gesichts*. p. 97, 99.

⁴ E. A. WEBER, *Programma. Colleg.* 113.

⁵ WELCKER, *Über Irradiation*. 1852. p. 107.

⁶ FECHNER, *Abhandlungen der Sächsischen Ges. d. Wiss.* VII. (1860) 399—403.

776 *A* befindet sich ein weißer Schirm, *O* und *O'* sind die Augen des Beobachters. Die Beleuchtung regelt man so, daß die Buchstaben und die Zahlen, welche der Beobachter in ihren von den Glasplatten entworfenen Spiegelbildern sieht, eben noch sichtbar sind, wenn der Bogen *A* stark beleuchtet ist. Scheinbar liegen für den Beobachter die Spiegelbilder der Buchstaben und Zahlen auf dem Bogen *A*. Ich sehe nun ganz regelmäßig, wenn ich den Buchstaben mit dem Auge zu folgen suche, den Grund blau, wenn ich den Zahlen folge, dagegen roth. Also die auf das Bild der einen Netzhaut gerichtete Aufmerksamkeit bringt auch den zugehörigen farbigen Grund zum Vorschein. Hierbei ist noch zu bemerken, daß die Contouren, welche in diesem Falle den einen Eindruck überwiegen machen, Grenzen von Weiß und Schwarz sind, ohne daß die Intensität der sichtbar werdenden Grundfarbe an ihnen eine Veränderung erleidet. Oder wenn man die ganze gemischte Beleuchtung zusammennimmt, so erscheinen die Buchstaben links reinblau auf weißlichem Blau, die Zahlen rechts reinroth auf weißlichem Roth. Bei den Contrasterscheinungen würde die Aufmerksamkeit nur dem Gegensatz von Schwarz und Weiß, nicht dem Blau oder Roth zugelenkt werden, was bei den hier beschriebenen binocularen Versuchen gerade im Gegentheil geschieht.

Noch einfacher gelingt mir dieser Versuch sehr leicht und gut, wenn ich nach dem Himmel blicke und vor das eine Auge ein rothes, vor das andere ein blaues Glas nehme, beide aber so gegen die Gesichtslinien neige, wie in *Fig. 254*, daß ich in jedem der Gläser schwache Spuren der Spiegelbilder seitlich gelegener Objecte sehe, und nun bald das eine, bald das andere Glas ein wenig bewege, so daß sich auch die von ihnen entworfenen Spiegelbilder ein wenig bewegen. Achtet man auf diese bewegten Bilder, die übrigens ganz verwaschen und lichtschwach sein dürfen, so tritt sogleich am Himmel die Farbe des entsprechenden Glases heraus. Es ist ein wunderliches Schauspiel, wenn so plötzlich, wie auf Commando, der blaue Himmel ganz roth, oder der rothe ganz blau wird.

Ob bei der binocularen Deckung verschiedenfarbiger Felder die Mischfarbe gesehen werde, oder nicht, darüber sind verschiedene Beobachter direct entgegengesetzter Meinung. Während H. MEYER, VOLKMANN, MEISSNER, FUNKE, denen ich mich selbst auch anschließen muß, niemals die Mischfarbe gesehen haben, erklären ebenso entschieden DOVE, REGNAULT, BRÜCKE, LUDWIG, PANUM, HERING, daß sie sie gesehen haben, und zwar nicht bloß bei matten und weißlichen Farben, sondern selbst bei gesättigten. DOVE berichtet, daß er sie selbst an den allergesättigsten Farben, denen des prismatischen Spectrum gesehen habe, indem er ein objectiv auf die Wand geworfenes Spectrum gleichzeitig mit einem umkehrenden und einem nicht umkehrenden Fernrohr binocular betrachtete. Außerdem empfiehlt er als besonders geeignet Polarisationsfarben. Wenn man vor eine schwarze Glasplatte, die das Licht unter dem Polarisationswinkel reflectirt, dünne Glimmer oder Gypsblättchen in passender Lage anbringt, und vor das rechte

Auge ein NICOL'sches Prisma in der Lage hält, wo es das von der Glasplatte reflectirte Licht im Maximum durchläßt, vor das linke Auge ein ebensolches Prisma, um einen rechten Winkel gedreht, so daß es das reflectirte Licht nicht durchgehen läßt, so sieht man mit beiden Augen die Krystallblättchen farbig, und zwar zeigen sie für beide Augen genaue Complementärfarben. DOVE und REGNAULT haben nun in solchen Fällen diese Complementärfarben sich binocular zu Weiß vereinigen gesehen. Ich ⁷⁷⁷ habe diese Versuche wiederholt und mir sind sie regelmäsig und vollständig mislungen. Ich sehe sowohl mit spectralen als mit Polarisationsfarben genau denselben Wettstreit und Wechsel der verschiedenen einfachen Farben, ohne daß die Mischfarbe zum Vorschein kommt, wie bei Pigmentfarben und den Farben gefärbter Gläser. Ich habe auch senkrecht zur Axe geschnittene Quarzplatten zu diesen Versuchen sehr vortheilhaft gefunden. Wenn man die NICOL'schen Prismen vor den Augen dreht, kommen neue Farben zum Vorschein. Ich sehe aber immer beide Farben getrennt, und gleichsam eine durch die andere, und kann immer augenblicklich angeben, ohne ein Auge zu schliessen, welche Farben da sind. Zur Vergleichung mit den Farben hat man dabei den hellweißen Grund der spiegelnden Platte, der die Mischfarbe zeigt, welche zum Vorschein kommen sollte, und eben deshalb ist es leicht, bei diesen Versuchen den großen Unterschied zwischen der binocularen Vereinigung verschiedener Farben und ihrer wirklichen Vereinigung zu erkennen.

Ogleich ich einsehe, wie mislich es ist, so vielen ausgezeichneten und zuverlässigen Beobachtern in einer Sache zu widersprechen, in der vielleicht außerordentlich große individuelle Unterschiede bestehen, so will ich hier doch einige Umstände anführen, welche bei meinen eigenen Versuchen zuweilen den Schein einer Mischfarbe hervorbrachten, während sich bei genauerer Untersuchung herausstellte, daß für mein Auge wenigstens eine solche nicht vorhanden war.

Zuerst ist folgendes zu bemerken: wenn man die binoculare Combination zweier Farben vor sich hat und außerdem auch noch beide Componenten einzeln, wenn man also z. B. mit parallelen Augenaxen nach einem blauen Felde blickt, welches seitwärts an ein rothes anstößt, so daß ein Doppelbild der Grenzlinie erscheint und auf der einen Seite sich Blau mit Blau, auf der andern Roth mit Roth, in der Mitte aber Roth mit Blau deckt, so unterscheidet sich das mittlere Blau von dem reinen Blau an seiner Seite allerdings dadurch, daß zu ihm im Gesichtsfelde auch noch mehr oder weniger Roth hinzukommt, und Jemand, der die Mischungsregeln der Farben kennt und gewöhnt ist, aus Blau und Roth sich Violett oder Purpur zusammensetzen zu sehen, könnte dies mit Roth zusammengesetzte Blau nun wohl für Violett erklären. Auch kommt es ja selbst im monocularen Felde vor, daß wirklich bestehendes Violett vermittels des Contrastes gegen nebenstehendes Blau, oder weil das Blau einer über die Farben hingebreiteten Decke oder der Gesamtbeleuchtung des Feldes anzugehören scheint, vom Beobachter

in Blau und Roth aufgelöst wird. Wir haben Beispiele der Art § 24 besprochen. Es kann also wirklich monocular zu Violett vereinigt Roth und Blau unter Umständen so getrennt erscheinen, wie das binocular sich deckende für meine Augen immer erscheint, und dadurch kann ein solcher Beobachter vielleicht verleitet werden zu glauben, daß wo er Blau und Roth gleichzeitig sieht, daß da Violett oder Purpur sei. Wenn man nun aber die wirkliche Mischfarbe der beiden gesehenen Farben zur Erscheinung bringt, so tritt der Unterschied schlagend hervor. Die beste und
 778 genaueste Methode die Mischfarbe hervorzubringen, ist folgende. Man legt zwei blaue und zwei rothe quadratische Felder wie die eines Schachbretts zusammen, so daß z. B. das rechte obere und linke untere blau, das linke obere und rechte untere roth sind. Dann bringt man vor jedes Auge ein doppeltbrechendes achromatisirtes Kalkspathprisma in derjenigen Stellung, daß es über einander liegende Doppelbilder giebt. Indem die Doppelbilder der farbigen Felder sich theilweis über einander schieben, entsteht für jedes Auge längs der horizontalen Trennungslinie der farbigen Felder ein aus Roth und Blau monocular gemischter, also rosarother Streifen. Jetzt blickt man mit parallelen Gesichtslinien nach den Feldern hin, so daß ihre Bilder sich binocular über einander schieben. Dann hat man oben rechtes Blau und linkes Roth sich deckend, in der Mitte Rosaroth mit Rosaroth, unten rechtes Roth mit linkem Blau. Unter diesen Umständen ist es für meine Augen ganz deutlich, daß in der binocularen Combination von Blau und Roth keine Spur von dem Rosenroth, wie es der mittlere Streifen zeigt, enthalten ist, sondern nur die beiden einzelnen Farben getrennt.

PANUM legt Gewicht darauf, daß die binocular zu mischenden Farben nicht zu lebhaft und nicht zu verschieden sein dürfen, weil sonst der Wettstreit der Sehfelder zu lebhaft und unruhig sei, und man dadurch verhindert werde, die Mischfarbe zu erkennen. Ich habe deshalb nach der bei den Contrasterscheinungen schon früher beschriebenen Methode von H. MEYER die zu combinirenden farbigen Felder mit feinem weißen Papier überdeckt, so daß durch das Papier die unterliegenden Farben nur schwach durchschimmerten. Als ich nun diese sehr weißlichen Farben zur Deckung brachte, glaubte ich in der That zuerst wirklich eine Mischfarbe zu sehen. Indessen wenn ich die wirkliche Mischfarbe der beiden Felder auch noch daneben brachte, erkannte ich wieder den Wettstreit der Sehfelder in den binocular gedeckten Feldern.

Zuweilen gelingt es, unter einer Auswahl farbiger und grauer Papiere einzelne zu finden, die genau die Mischfarbe zweier anderen, wie sie durch ein doppeltbrechendes Prisma hergestellt wird, darbieten; dann werden die Versuche noch leichter und schlagender. Ich legte neben einander ein Blatt von grünem und rosenrothem Glanzpapier, so daß ihre Grenzlinie vertical war. Quer darüber, also horizontal, legte ich einen Streifen grauen Papiers, welches der Mischfarbe von jenen beiden Farben entsprach. Das Ganze wurde mit feinem weißen Papier überdeckt. Wenn ich nun diese Felder

mit einem doppeltbrechenden Prisma so ansah, daß die Doppelbilder horizontal auseinander geschoben wurden, so deckte sich längs des horizontalen grauen Streifens Grau mit Grau, darüber und darunter in der Mitte Rosa mit Grün, welche ebenfalls Grau gaben, und dieses letztere Grau ging ununterscheidbar über in das Grau des horizontalen Streifens. Wenn ich aber nach Entfernung des doppeltbrechenden Prisma binoculare Doppelbilder erzeugte, so hob sich der Streifen, wo Grau auf Grau lag, sehr entschieden ab von dem, wo Rosa auf Grün lag, und im letzteren erschienen wieder die beiden Farben neben einander. Nahm ich aber den mittleren grauen Streifen fort, so erkannte ich den Wettstreit der Sehfelder nicht mehr deutlich und bemerkte dann in diesem Felde nur das Gemeinsame beider Farben, nämlich das Weißs.

In andern Fällen sind es Nachbilder, die eine scheinbare Mischung ⁷⁷⁹ hervorbringen. Dazu läßt sich sehr gut die eben beschriebene Anordnung benutzen: oben ein grauer Streifen, unten rechts grün, links rosenroth, welche beide letzteren Farben, durch das doppeltbrechende Prisma gemischt, das obere Grau geben. Ich bringe die beiden unteren Felder zur binocularen Deckung und sehe anfangs nur lebhaften Wettstreit zwischen ihnen. Wenn ich aber lange anhaltend fixire, fängt endlich das binocular gemischte Feld an, dem oberen Grau ähnlich zu werden, und nur wenig bald nach der Seite des Roth, bald nach der des Grün hin abzuweichen. Wenn ich aber nun das Roth mit Grün bedecke und dabei das eine oder andere Auge schliesse, so erscheint mir das Nachbild des Grün auf Grün, während in dem Theile des Feldes, wo vorher Rosa lag, jetzt das reine gesättigte Grün sichtbar wird. Da sieht man denn sehr deutlich, daß das durch Ermüdung veränderte Grün in der That dem Grau des oberen Streifens sehr ähnlich geworden ist. Dasselbe findet man am Rosaroth, wenn man das Grün verdeckt. Die scheinbare Mischung der Farben zu Weißs beruht also in diesem Falle darauf, daß die Farben selbst in der Empfindung in Folge der entstehenden complementären Nachbilder dem Grau viel ähnlicher geworden sind, und daß der Unterschied und Wettstreit der einander ähnlich gewordenen Farben zuletzt nicht mehr so auffällt, wie der der ursprünglichen lebhaften.

In gewissen Fällen kann die auf S. 554 erwähnte Induction der Farbe des Grundes über ein kleines andersfarbiges Feld scheinbare binoculare Mischung hervorbringen. Ich betrachtete einen blauen horizontalen Streifen auf rothem Grunde längere Zeit in Doppelbildern in starrer Fixation, indem ich ein schwarzes auf dem Blau angebrachtes Pünktchen mit einem ebensolchen auf dem Roth binocular vereinigte. Anfangs sah ich nur den Wettstreit des Roth und Blau auf dem Theil des Feldes, wo sich Roth und Blau deckte. Endlich aber bemerkte ich, daß wirkliches Violett eintrat. Als ich aber nun das eine Auge schloß, erkannte ich das inducirte Roth auch monocular auf dem blauen Streifen.

Am auffallendsten endlich finde ich den Schein einer binocularen

Mischung in einem schon von H. MEYER und PANUM¹ besprochenen Falle. Es befinde sich rechts ein gelbes Feld, auf dem horizontal ein rosenrother Streifen liegt, links ein blaues mit einem verticalen Streifen von demselben Rosenroth. Man bringe das gelbe und blaue Feld zur binocularen Deckung, so daß die beiden rosenrothen Streifen sich scheinbar kreuzen, so erscheint der linke, welcher größtentheils auf das gelbe Feld fällt, allerdings viel gelblicher, als der rechte, der sich größtentheils mit dem blauen Felde deckt. In der Mitte, wo beide Felder sich kreuzen, sieht man reines Rosenroth, oder vielmehr, wie mir scheint, das gelbliche Rosenroth des einen geht hier unter dem bläulichen Rosenroth des anderen Streifens gleichsam unverschmolzen hindurch. PANUM betrachtet die gelbliche Färbung des einen Rosenroth, die bläuliche des anderen als Folge ihrer binocularen Mischung mit der Farbe des gegenüber stehenden Feldes. Zu beachten ist hierbei, daß die Veränderung der beiden rosenrothen Streifen am lebhaftesten wird, wenn man den Blick wandern läßt, weil dann der auf Gelb liegende das blaue Nachbild des Gelb bekommt, der auf Blau liegende das gelbe Nachbild des Blau. Aber in schwächerem Grade ist die Wirkung allerdings auch bei fest fixirendem Blick vorhanden. Doch kann man auch in diesem Falle sich überzeugen, daß man es hier zunächst mit einer Contrastwirkung zu thun hat. Die veränderte Färbung des Rosenroth bleibt nämlich auch bestehen, wenn man durch Schluß des anderen Auges die binoculare Mischung aufhebt. Man schliesse das rechte Auge, welches nach dem gelben Felde gerichtet ist, so bleibt der rosenrothe Streif auf dem noch übrigen blauen Felde so gelblich, wie er vorher war. Im Moment des Augenschlusses verschwindet freilich noch das ihn binocular deckende Gelb, wie eine Art gelben Nebels, durch welchen hin man ihn sah, aber die scheinbare Färbung des Rosenroth selbst bleibt dabei ganz unverändert. Ebenso erscheint der rosenrothe Streif auf dem Gelb unverändert bläulich roth, wenn man auch das nach dem Blau blickende linke Auge schließt. Daraus folgt also, daß die Veränderung des Rosa nicht oder wenigstens nicht allein, von binocularer Mischung herrührt, sondern eine Contrastwirkung ist. Schon von Anfang an, auch bei monocularer Betrachtung, erscheint das Rosa auf dem blauen Felde durch Contrast gelblicher, das auf dem gelben Felde bläulicher. Sobald man die beiden Felder zur Deckung bringt, wird die Contrastwirkung allerdings viel lebhafter; ist sie aber einmal so lebhaft entwickelt, so schwindet sie auch nicht wieder, wenn man selbst ein Auge schließt und somit die binoculare Deckung aufhebt. Bei jedem Contraste ist die Beurtheilung der Farbe, wie wir uns in § 24 zu zeigen bemühten, innerhalb eines gewissen Intervalls unsicher. Nebenumstände bewirken, daß man die gesehene Farbe eher nach der einen Seite dieses Intervalls, als nach der anderen verlegt. Bei dem hier besprochenen Versuche kann die binoculare Deckung mit der Complementärfarbe des Grundes, auf dem der rosenrothe Streifen liegt, wohl als ein solcher

¹ PANUM, *Physiologische Untersuchungen über das Sehen mit zwei Augen*. Kiel 1858. S. 41, Fig. 27 und 29.

Nebenumstand betrachtet werden. Übrigens komme ich unten noch auf die Lehre von den binocularen Contrasten wieder zurück.

Was die Theorie der binocularen Zusammensetzung der Farben betrifft, so ist diese, wenn wir von TH. YOUNG'S Farbentheorie ausgehen, von ihrer monocularen Mischung nur dadurch unterschieden, daß die den drei verschiedenen Grundfarben entsprechenden Nervenfasern, welche in verschiedenem Grade gereizt werden, dort auf beide, hier nur in einer Netzhaut vertheilt sind. Die drei verschiedenartigen Nervenfasern, welche demselben Punkte einer Netzhaut angehören, haben entweder dasselbe Localzeichen, oder wenn sie verschiedene Localzeichen haben, so kann doch keine mögliche Erfahrung vorkommen, bei der sie durch Objecte, die in verschiedenen Theilen des Gesichtsfeldes lägen, erregt würden. Eine Veranlassung zu getrennter Localisation dieser Empfindungen in Bezug auf die Richtungen im Sehfeld kann also nicht vorkommen. Ihre verschiedenen Empfindungen verschmelzen also in eine zusammengesetzte Empfindung, die Empfindung einer Mischfarbe, welche der Regel nach als das sinnliche Zeichen für eine bestimmte Beschaffenheit des örtlich einfachen Objects auftritt, das sich in jenem Theile des Sehfeldes befindet. Und doch haben wir gesehen, daß auch bei monocularer Mischung Fälle eintreten, wo wir eine der zusammengesetzten Farben durch die andere hindurch zu sehen glauben, wenn entweder die ungleichmäßige Vertheilung des Lichts, oder die Bewegung eines örtlich begrenzten Bildes, oder die Anwesenheit eines Theils der Farbe im ganzen Gesichtsfelde uns darauf hinleiten, eine farbige Beleuchtung oder eine farbige Decke von einem farbigen Objecte zu trennen. 781

Bei ungleichartiger Beleuchtung correspondirender Theile beider Netzhäute ist nun der Eindruck ein solcher, wie er bei einer von allen Seiten gleichmäßigen Beleuchtung eines einfachen Objects niemals vorkommen kann. Dennoch versetzen wir (aber wahrscheinlich nicht in Folge einer angeborenen Einrichtung unseres Nervensystems, sondern nur in Folge von Einübung) beide Farben in eine und dieselbe Gegend des gemeinsamen Gesichtsfeldes. So sieht man also zwei Farben in dem gleichen Felde und empfindet jede getrennt von der andern. Am ähnlichsten ist dieses Gesichtsbild jedenfalls denjenigen Fällen monocularer Mischung, wo wir zwei farbige Objecte hinter einander in der gleichen Stelle des Sehfeldes sehen oder zu sehen vermeinen, und von einer Zahl der Beobachter, wozu ich mich selbst rechnen muß, wird die Sache also auch jedenfalls nur so gesehen. Dabei tritt das Schwanken der Aufmerksamkeit ein, die sich entweder dem einen oder anderen Felde zuwendet, und giebt sich als Wettstreit zu erkennen. Etwas dem Wettstreit ähnliches, nur sehr viel schwächer entwickelt, kann man übrigens auch im monocularen Felde sehen, wenn man mittels einer unbelegten Glasplatte das Spiegelbild eines Objectes mit dem durch die Platte gesehenen anderen Objecte zum Decken bringt, vorausgesetzt, daß beide nahehin gleich hell und deutlich gezeichnet sind, aber ganz verschiedenes Muster haben. Dann kann man entweder das eine oder andere Object

betrachten, das nicht beachtete tritt auch in diesem Falle mehr zurück, wenn es auch nie so vollständig schwindet, wie bei binocularer Deckung. Durch kleine Bewegungen der reflectirenden Platte kann man sich nöthigenfalls die Trennung der beiden Bilder sehr erleichtern.

Da übrigens nach YOUNG'S Theorie die Anschauung von Mischfarben doch immer nur darauf beruht, daß drei verschiedene Farbenempfindungen in dieselbe Stelle des Sehfeldes hinein projicirt werden, und es selbst bei monocularer Mischung nur auf einem je nach den Nebenumständen verschieden ausfallenden Acte des Urtheils beruht, ob dieselben als sinnliches Zeichen einer einfachen Qualität eines Objects oder zweier verschiedenen Qualitäten zweier Objecte angesehen werden, so erscheint es andererseits nicht unmöglich, daß bei der binocularen Deckung zweier Farben von der Verschiedenheit, welche zwischen dieser Art des Eindrucks und dem der monocularen Mischung stattfindet, abgesehen werde, und die Farben so vereinigt wie bei letzterer angesehen werden. Nach YOUNG'S Farbentheorie ist die Mischfarbe ja auch weiter nichts als die Addition dreier verschiedenartiger, sich sonst gegenseitig nicht beeinflussender Eindrücke, welche dieselbe Localisation haben, und die Urtheilsacte, nach denen bald Vereinigung, bald Trennung eintritt, können bei verschiedenen Beobachtern je nach Einübung und verschiedener individueller Erfahrung natürlich sehr verschieden ausfallen. Daß dabei die Vereinigung sehr ähnlicher Farben, die also viel Gemeinsames und wenig Verschiedenes haben, leichter erfolgen kann, als die sehr verschiedener, ist an und für sich selbstverständlich. Dazu kommt auch noch, daß kleine Verschiedenheiten des Eindrucks auf beide Augen häufig auch bei Betrachtung desselben reellen Objects vorkommen können, wenn das eine Auge mehr ermüdet oder ausgeruht ist als das andere, oder wenn seitlich sehr helles oder farbiges Licht einfällt, welches in ihm zerstreut wird, und so weiter. Die Ausgleichung solcher kleinerer Verschiedenheiten kann also zur Sache der Gewohnheit werden und übersehen werden. Wenn man freilich ein Feld, welches einen solchen Eindruck darbietet, dicht neben ein anderes stellt, in welchem zwei gleiche Farben zur Deckung kommen, so erkennt man die Verschiedenheit und bemerkt den Wettstreit, der auch zwischen wenig differenten Eindrücken vor sich geht.

In ganz eigenthümlicher Weise endlich macht sich die binoculare Combination verschieden farbiger oder verschieden beleuchteter Felder geltend in stereoskopischen Zeichnungen. Macht man nämlich in dem einen von zwei zusammengehörigen Bildern eines Körpers eine Fläche weiß, die man in dem andern Bilde schwarz läßt, oder giebt man ihnen verschiedene, am besten nicht zu sehr verschiedene Farben, so erscheint eine solche Fläche in der stereoskopischen Combination glänzend, während alle diejenigen Theile des Körpers, die in beiden Zeichnungen gleiche Färbung und Beleuchtung haben, matt erscheinen. Übrigens ist dieser Schein des Glänzenden oder Matten durchaus unabhängig davon, ob die Flächen der Zeichnung wirklich matt oder glänzend sind, vorausgesetzt, daß sie im

letzteren Falle nicht gespiegeltes Licht in das Auge des Beobachters zurückwerfen.

Man kann sogar stereoskopische Linienzeichnungen, zum Beispiel von Krystallmodellen, einerseits mit schwarzen Linien auf weißem Grunde, andererseits mit weißen Linien auf schwarzem Grunde ausführen und solche Zeichnungen stereoskopisch combiniren. Man erhält dabei den Eindruck, als wäre der Körper, den man sieht, aus einer dunklen glänzenden Masse, wie Graphit, ausgeführt und läge auf einer Fläche von Graphit. Ein solches Beispiel zeigt *Fig. Q, Taf. VI.*

Auch in photographischen Stereoskopbildern von glänzenden Gegenständen, z. B. glänzenden Pflanzenblättern, Atlas u. s. w., wird man häufig Stellen finden, welche in beiden Zeichnungen verschieden helle Reflexe zeigen und in dem combinirten Bilde den Eindruck des Glanzes hervorrufen. Am ausgezeichnetsten vielleicht ist dieser Eindruck auf momentanen Photographien einer welligen, von der Sonne beschienenen Wasseroberfläche. Ebenso wird man sich bei Betrachtung objectiver glänzender Körper sehr oft überzeugen können, daß einzelne Stellen derselben dem einen Auge einen viel stärkeren Reflex zusenden als dem andern.

Hierin scheint mir auch der Grund zu liegen, warum in stereoskopischen Zeichnungen verschieden beleuchtete Flächen combinirt glänzend erscheinen. Wenn eine matte Oberfläche von Licht getroffen wird, so sendet sie dieses Licht gleichmäßig nach allen Richtungen in der Weise zurück, daß sie von allen Richtungen aus gesehen gleich hell erscheint. Folglich wird sie auch unter den normalen Bedingungen des Sehens unseren beiden Augen immer gleich hell erscheinen. Glänzende Flächen dagegen sind solche, die eine mehr oder weniger regelmäßige spiegelnde Reflexion zeigen. Sie können eine Menge größerer oder kleinerer hügeliger Unebenheiten zeigen; wenn die Oberfläche dieser Hügel polirt ist und überwiegend einer bestimmten Richtung sich nähert, so werden sie doch auffallendes Licht in überwiegender Menge in derjenigen Richtung zurückwerfen, in der eine regelmäßig spiegelnde Fläche alles Licht zurückwerfen würde. Unter diesen Umständen wird es oft vorkommen, daß eines unserer Augen sich in der Richtung des zurückgeworfenen Lichts befindet, das andere nicht. Dem ersteren erscheint dann die betreffende Fläche stark erleuchtet, dem anderen schwach. Sehen wir also im Stereoskope an dem Bilde eines Körpers eine Fläche mit beiden Augen verschieden stark erleuchtet, so erhalten wir einen sinnlichen Eindruck, den in Wirklichkeit nur glänzende, aber niemals matte Flächen hervorbringen können, und die betreffende Fläche erscheint uns deshalb glänzend.

Ebenso kann es vorkommen, daß ein glänzender Körper, der von farbigen umringt ist, dem einen Auge reflectirtes Licht von einer, dem andern von anderer Farbe zusendet, also beiden Augen verschiedenfarbig erscheint, während ein matter Körper unter den normalen Bedingungen des Sehens nothwendig beiden Augen immer gleichfarbig erscheinen muß. Wenn also im Stereoskope dieselbe Fläche in der einen Zeichnung anders gefärbt ist als

in der andern, so erregt uns das einen sinnlichen Eindruck, wie ihn nur glänzende Körper hervorbringen können. Da sich in der Regel die Farbe des glänzenden Körpers selbst mit der der beiden Reflexe mischt und die letzteren selten ganz rein nur die eine Farbe reflectiren, so sind die Unterschiede in der Färbung solcher Reflexe glänzender Körper für beide Augen in der Regel nicht sehr groß, und dem entsprechend gelingt es besser Glanz hervorzubringen durch Verbindung von Farben, die nicht sehr verschieden sind, als durch sehr glänzende und sehr differente. Letztere lassen mehr Wettstreit als Glanz sehen.

Nach den Beobachtungen von WUNDT tritt der Glanz in der Combination zweier farbigen Felder am besten hervor, wenn beide ungefähr gleich stark mit dem Grunde, auf dem sie liegen, contrastiren, schwächer, wenn eines viel stärker contrastirt; dann überwiegt nämlich dasselbe im Wettstreite der Sehfelder zu sehr und unterdrückt das andere. Legt man zum Beispiel ein helles gelbes und ein dunkles blaues Quadrat von gleicher Größe auf weißen oder schwarzen Grund, und bringt sie zur binocularen Deckung, so unterscheidet sich im einen Falle das Gelb zu wenig vom weißen Grunde, im andern das Blau zu wenig vom schwarzen Grunde, und der Glanz ist viel schwächer, als wenn man beide Quadrate auf grauen Grund legt, der sich von beiden gleich stark unterscheidet.

Auch dadurch, daß man auf dem einen Quadrate Zeichnungen mit scharfen Contouren anbringt, kann man dieses im Wettstreit so begünstigen, daß die Erscheinung des Glanzes undeutlich wird.

Auch kann man binocularen Glanz hervorbringen, ohne gerade stereoskopische Zeichnungen zu benutzen, wenn man durch zwei verschieden gefärbte Gläser nach buntgefärbten Objecten hinsieht, zum Beispiel durch 784 ein blaues und ein rothes Glas nach einem in Blau und Roth ausgeführten Muster. Durch jedes Glas erscheint die gleichnamige Farbe hell, die andere dunkel, und man sieht das Muster sehr auffallend glänzend. Wichtig ist dabei die Bemerkung von DOVE, daß, wenn im Wettstreit der Augen die eine oder andere Farbe sich ganz hervordrängt, der Glanz verschwindet, im Moment des Übergangs aber, wo beide neben einander sichtbar sind, der Glanz auftritt.

Der Metallglanz ist dadurch charakterisirt, daß das regelmäsig reflectirte Licht selbst schon gefärbt und nicht weiß ist, wie das der durchsichtigen Stoffe. Metallglanz kommt deshalb auch Körpern zu, welche die Farben dünner Blättchen geben, wie bunte Vogelfedern, und gewissen stark gefärbten und brechenden Stoffen, wie Indigo.

Die Erscheinung des stereoskopischen Glanzes ist für die Theorie der Thätigkeit beider Netzhäute deshalb von Interesse, weil daraus mit Sicherheit hervorgeht, was bei den verschiedenen Aussagen verschiedener Beobachter über die Erfolge der binocularen Deckung verschiedener Bilder vielleicht zweifelhaft bleiben könnte, daß zwei heterogene Lichtwirkungen auf correspondirende Netzhautstellen stets einen durchaus andern sinnlichen Ein-

druck machen, als zwei gleichartige Einwirkungen auf dieselben Stellen. Wenn das eine Auge Schwarz sieht und das andere in dem correspondirenden Theile des Sehfeldes Weiß, so ist der sinnliche Eindruck der einer glänzenden weißlichen Fläche. Wenn wir aber das weiße Licht, was bisher auf die eine Seite allein fiel, auf beide Seiten gleichmäÙig vertheilen, also Grau mit Grau combiniren, so giebt das den Eindruck von mattem Grau, welcher ganz bestimmt unterschieden ist von dem Eindruck des glänzenden Weiß, den die erste Combination machte.

Dasselbe gilt für den durch binoculare Vereinigung verschiedener Farben erzeugten Glanz.

Man kann zwar denselben Schluß schon aus der Thatsache ziehen, daß zwei stereoskopische Zeichnungen, binocular combinirt, nicht so erscheinen, als wären alle Linien auf dasselbe Blatt aufgetragen, sondern den Eindruck eines Körpers geben. Indessen ist hierbei allerdings der Einfluß der Augenbewegungen von Wichtigkeit, und nur bei momentaner Beleuchtung durch den elektrischen Funken fällt dieser ganz weg.

Ich bemerke noch, daß ich auch solche Zeichnungen, welche stereoskopischen Glanz zeigen, bei der Beleuchtung durch den elektrischen Funken betrachtet habe, und daß auch hierbei der Eindruck des Glanzes vollkommen zur Erscheinung kommt. Diese Thatsache ist wichtig, weil dadurch die Erklärung beseitigt wird, daß der Glanz auf dem Wechsel der Beleuchtung und Färbung beruht, den der Wettstreit verursacht. Den Wechsel im Wettstreit bei nicht angestrenzter Aufmerksamkeit habe ich nie schneller als in Perioden von etwa 8 Secunden, meist aber sehr viel langsamer vor sich gehen sehen. Wenn nun auch der Lichteindruck in der Netzhaut einen kleinen Bruchtheil einer Secunde dauert, so ist während dieser Zeit keine merkliche Änderung durch den Wettstreit der Sehfelder möglich. Man kann aber in dieser kurzen Zeit erkennen, daß man die beiden verschiedenen Eindrücke beider Sehfelder gleichzeitig und in derselben Stelle des gemeinschaftlichen Gesichtsfeldes sieht.

Den Eindruck des Glanzes können übrigens auch monocular gesehene 785
Bilder und Objecte hervorbringen, zum Beispiel dadurch, daß ihre Beleuchtung bei Bewegungen des Beobachters sich schnell verändert; dabei kommen die Elemente, aus denen sich der stereoskopische Glanz zusammensetzt, nicht gleichzeitig, aber schnell hinter einander zur Beobachtung. Ferner erscheinen bewegte Objecte glänzend, wenn die Beleuchtung ihrer einzelnen Theile schnell hinter einander sich verändert, wie es zum Beispiel bei einer bewegten Wasserfläche geschieht. Es genügt selbst, wenn nur die verschiedenartige Beleuchtung der Theile einer Fläche die bekannten Formen der Lichtreflexe unvollkommen spiegelnder Körper nachahmt. WUNDT hat monocularen Glanz hervorgebracht, indem er ein dunkles Quadrat auf andersfarbigem dunklen Grunde durch eine unbelegte Glasplatte betrachtete, deren Vorderseite gleichzeitig ein helleres Quadrat auf hellerem Grunde spiegelte, so daß die Spiegelbilder mit dem erstgenannten sich nahehin deckten. Der Glanz verschwand,

wenn das gespiegelte Quadrat scheinbar genau an demselben Orte sich befand, wie das wirklich dort vorhandene, dann sah man nur die Mischfarbe. Der Glanz kam aber zum Vorschein, wenn das gespiegelte scheinbar hinter dem wirklichen lag. Lag es vor ihm, so schien eher das gespiegelte zu glänzen. Es wurde hierbei also die Anschauung hervorgebracht, als sähe man hinter und durch das wirklich vorhandene Quadrat noch ein anderes, was dann als ein von ersterem entworfenenes Spiegelbild erschien, und das gab den Anschein des Glanzes. Diese Versuche zeigen besonders gut, daß es hier nicht auf besondere Qualitäten der Färbung ankommt, sondern darauf, die Täuschung hervorzubringen, als reflectire eine gesehene Fläche noch ein anderes Bild.

Der Schein der Durchsichtigkeit tritt auch bei binocularer Deckung zweier verschiedenfarbiger Felder zuweilen ein, worauf WUNDT aufmerksam machte. Bringt man zum Beispiel ein helles gelbes und dunkleres blaues Quadrat auf weißem Grunde zu einer unvollständigen binocularen Deckung, so erscheint das Blau da, wo man die Grenze des Gelb und Weiß von ihm gedeckt sieht, durchsichtig. Dagegen fehlt dieser Schein, wo das Gelb die Grenze von Blau und Weiß deckt. Auf schwarzem Grunde erscheint dagegen das Gelb durchsichtig. Das stärker mit dem Grunde contrastirende Feld erscheint überhaupt der Regel nach als das durchsichtige, entsprechend dem objectiven Verhältniß, wonach etwas, was durch ein durchscheinendes Medium, dessen Substanz selbst deutlich wahrgenommen wird, gesehen wird, immer nur undeutlich gesehen wird, während die Grenzen dieses Mediums, unbedeckt von einem anderem durchscheinenden Medium, sich der Regel nach scharf markiren werden.

Es sind schließlic noch einige Erscheinungen zu besprechen, welche als Contrast zwischen den Empfindungen beider Augen auszulegen sind, oder wenigstens ausgelegt werden können.

Zunächst hat namentlich FECHNER darauf aufmerksam gemacht, wie außerordentlich gut kleine Unterschiede der augenblicklichen Farbestimmung beider Augen, d. h. der Weise, in welcher die Augen die Farben empfinden, wahrgenommen werden, wenn man nach einem kleinen hellen Objecte auf schwarzem Grunde sieht und dessen binoculares Bild durch veränderte Augenstellung in Doppelbilder auseinander schiebt. Ist das eine Auge zum Beispiel geschlossen gewesen und hat das andere während der Zeit helle weiße Flächen angesehen, so erscheint unmittelbar hinterher von den zwei Doppelbildern eines weißen Streifens auf schwarzem Grunde dasjenige, welches dem ermüdeten Auge angehört, dunkler und auch violetter als das andere, welches dem vorher ausgeruhten Auge angehört. Hat man dagegen mit dem freien Auge nach einer farbigen Fläche gesehen, so erscheint dessen Bild nachher in der Complementärfarbe, das andere der inducirenden Farbe gleichfarbig. Hierbei ist die Complementärfarbe in dem ermüdeten Auge in der Vergleichung der beiden Doppelbilder sehr viel länger sichtbar, als wenn man beide Augen nach derselben farbigen Fläche

hat blicken lassen und in beiden daher die gleiche Farbenstimmung nachbleibt. So ist es zum Beispiel ohne dieses Hilfsmittel der Doppelbilder sehr schwer zu erkennen, daß das Nachbild einer mälsig erleuchteten weissen Fläche eine bläuliche Färbung hat, während dieser Umstand in der Vergleichung mit dem Doppelbilde des ausgeruhten Auges, welches hell orange-gelb erscheint, sogleich sichtbar wird. Ist der Unterschied der Helligkeit beider Bilder zu groß, so kann man die Vergleichung sehr erleichtern, wenn man das des freien Auges entsprechend verdunkelt, indem man entweder durch eine feine Öffnung in einem schwarzen Papierblatte blickt, oder durch ein doppeltbrechendes Prisma, welches zwei Bilder des hellen Streifens, jedes von halber Helligkeit des directen Bildes zeigt, oder auch durch ein farbloses graues Brillenglas, von dessen Farblosigkeit man sich vorher überzeugt hat.

Es geht aus diesen Versuchen hervor, daß die Vergleichung zwischen den Farbenempfindungen naehin correspondirender Stellen beider Netzhäute mit großer Genauigkeit geschehen kann, scheinbar sogar mit größerer Genauigkeit und viel längere Zeit hindurch, als dies der Fall ist, wenn die beiden Farben durch die entsprechenden Stellen einer Netzhaut verglichen werden sollen. Um nämlich die Farbe, in der die Netzhaut zum Beispiel Weis empfindet, zu vergleichen mit der, in der es die nicht ermüdete thut, muß man durch starres Fixiren eines weissen Objects auf schwarzem Grunde ein scharf gezeichnetes Nachbild entwickeln und dies nachher auf gleichmälsig weissem Grunde betrachten. Abgesehen davon, daß die Anstrengung des starren Fixirens ziemlich beträchtlich ist und vielleicht Einfluß auf den Verlauf des Processes hat, abgesehen ferner davon, daß man den Vortheil nicht hat, das helle Bild beliebig verdunkeln zu können, so verschwinden die begrenzten Nachbilder auf einer Netzhaut auch bald für die Wahrnehmung, weil wir überhaupt gleichbleibende Helligkeits- oder Farbenunterschiede zwischen zwei verschiedenen Netzhautstellen, die durch Wechsel nicht aufgefrischt werden, schwer bemerken.

Wir haben in § 24 gesehen, daß wir geneigt sind, deutlich wahrnehmbare Unterschiede der Helligkeit und Farbe für größer zu halten, als undeutlich wahrnehmbare, und daß der größere Theil der sogenannten Contrasterscheinungen hierauf zurückzuführen ist. Eine solche Contrastwirkung äußert sich nun im vorliegenden Falle dadurch, daß auch das unveränderte Bild sich im Gegensatze zu dem veränderten färbt, erhellt oder verdunkelt. So sieht das reine Weis des unermüdeten Auges gelb aus, neben dem violetten Grau des durch Weis ermüdeten, oder ersteres 787 grün, wenn das letztere durch das Nachbild von Grün rosaroth gefärbt ist u. s. f.

Statt das eine Doppelbild durch ein Nachbild zu färben, kann man es auch direct durch ein farbiges Glas färben, welches man vor das betreffende Auge bringt. Aber ich finde auch hier, was wir schon oben für die Contrasterscheinungen als charakteristisch fanden, daß eine schwache Farbe eine viel

deutlichere Contrastwirkung hervorbringt, als eine sehr gesättigte. Grünliches Fensterglas oder gelbröthliches Bouteillenglas zeigt die complementäre Farbe auf dem jenseitigen Doppelbilde viel deutlicher, als wenn man durch sehr tief gefärbtes Glas blickt, selbst wenn man im letzteren Falle das Bild des anderen Auges durch passende graue Gläser auf dieselbe Lichtstärke herunterbringt, als das farbige Bild.

Ja es ist sogar ein Contrast möglich zwischen solchen Farben, die auf correspondirenden Stellen beider Netzhäute liegen. Man lege einen schwarzen Streifen auf einen weissen Grund, schiebe sein Bild zu Doppelbildern auseinander und bringe dann vor das eine Auge ein blaues, vor das andere ein graues Glas, welche beide ungefähr gleich dunkel sind. Man sieht dann das eine Bild des schwarzen Streifen umgeben von hervortretendem Blau, das andere von hervortretendem Weifs, während im übrigen Grunde Blau und Weifs mehr oder weniger gleichmäfsig über einander lagern. Dabei zeigt sich das Weifs, was längs der Contour des schwarzen Streifens hervortritt, entschieden gelblich. Nimmt man beide Gläser fort, so erscheint gelbliches Weifs, wo vorher Blau vorherrschte, und bläuliches Weifs, wo wir es vorher gelblich sahen.

Vertauschen wir bei diesem Versuche die blaue Glasplatte mit einer gelben, so wechselt auch in den Bildern überall Gelb mit Blau.

Es mufs wohl als sehr auffallend betrachtet werden, dafs unter dem Einflufs der Contouren des Schwarz unsere Aufmerksamkeit sich dem benachbarten Weifs so ausschliesslich zuwendet und es von dem im gemeinschaftlichen Gesichtsfelde überdeckenden Blau so vollständig trennt, dafs dieses Weifs sogar gelblich aussehen kann. Dies gelbliche Weifs zeigt übrigens auch darin seinen Charakter als Contrastfarbe, dafs es kurze Zeit stehen bleibt, selbst wenn wir das Auge hinter dem blauen Glase ganz schliessen. Auch bei den farbigen Schatten (S. 551 und 552) fanden wir, dafs das einmal über die Art der Farbe festgestellte Urtheil bestehen blieb, selbst nachdem die contrastirende Farbe, deren Anwesenheit zu dem Irrthume verleitet hatte, aus dem Gesichtsfelde entfernt war.

In den bisherigen Versuchen fand der Contrast statt in der Vergleichung zweier Farben, welche den entgegengesetzten Gesichtsfeldern angehören. Es kann nun aber auch die Wirkung monocularen Contrastes durch binoculare Vergleichung mit dem entgegengesetzten Contraste gesteigert werden. Man lege rechts einen Bogen rosarothern, links einen Bogen grünen Papiers, so dafs beide in der Mitte an einander stofsen; ferner lege man nahe der Grenzlinie auf jede Seite einen Streifen weissen Papiers. Betrachtet man diese beiden Streifen mit freien Augen, so ist in der Regel gar keine Contrastfärbung an den beiden Papierstreifen zu bemerken, wenn nicht schon starke Nachbilder der beiden Farben entwickelt sind. Blickt man mit einem 788 Auge durch eine schwarze Röhre nach einem dieser Streifen, während das andere Auge geschlossen ist, so bemerkt man allerdings eine schwache complementäre Contrastfärbung. Hält man aber zwei schwarze Röhren vor

beide Augen, so daß das rechte den einen Streifen mit einem Stück des rothen Grundes, das linke den anderen mit einem Stück des grünen Grundes sieht, ohne daß man übrigens die Streifen binocular zum Decken bringt, so treten die complementären Färbungen der beiden Streifen in einer sonst kaum beobachteten Stärke auf. Die Wirkung nimmt an Stärke immer mehr zu, wenn man den Versuch längere Zeit fortsetzt, ohne den Blick auf einen bestimmten Punkt festzuheften. Dabei entstehen natürlich immer stärkere Nachbilder des Grundes, und da das rechte Auge nur rothen, das andere nur grünen Grund sieht, so kann bei allen Bewegungen des Auges sich im rechten Auge immer nur Grün, im linken immer nur Roth als Grund entwickeln und die Contrastwirkung nur verstärken.

Dies wäre nun ein successiver Contrast, einer der auf Nachbildern beruht. Wenn man zu Anfang des Versuchs schnell die Augen auf die weißen Streifen hinwendet und sie möglichst schnell in der richtigen Lage fixirt, so sieht man ebenfalls, wenn auch viel schwächer die Contrastfarben. Indessen da unter den Umständen dieses Versuchs Nachbilder des Grundes durch die Vergleichung der Färbung in beiden Sehfeldern besonders leicht sichtbar werden, so hielt ich es für nöthig, eine Versuchsweise zu suchen, welche ganz sicher vor jeder Entstehung eines Nachbildes des Grundes schützte. Zu dem Ende befestigte ich auf einer Glasplatte zwei Papierstreifen, parallel zu einander in senkrechter Richtung, von denen der rechte oben schwarz und unten grau, der linke oben grau und unten schwarz war. Die Glastafel brachte ich über eine rechts mit rothem, links mit grünem Papier belegte Fläche, so daß der rechte Papierstreifen über rothem, der linke über grünem Grunde lag. Vor dem Beginn des Versuchs schob ich aber weißes Papier zwischen die Glastafel und die farbige Fläche, so daß die letztere ganz verdeckt war. Nun fixirte ich mit beiden Augen die grauschwarzen Streifen so, daß sie sich deckten, wobei sowohl die obere als untere Hälfte des Bildes aus der Deckung einer schwarzen und einer grauen Streifenhälfte besteht. In der Mitte jedes Streifens hatte ich einen weißen Punkt angebracht als Fixationspunkt. Indem ich die beiden weißen Punkte binocular vereinigte, war ich im Stande, das gemeinsame Bild der grauschwarzen Streifen ganz sicher festzuhalten. Wenn ich nun das weiße Papier entfernte, so daß die farbige Fläche dahinter zum Vorschein kam, so entstanden allerdings Spuren einer Contrastfärbung, die aber außerordentlich schwach waren. Das Grau, welches auf grünem Grunde lag, erschien röthlich, das auf rothem Grunde befindliche grünlich. Dagegen genüßten wenige kurze Bewegungen des Blicks von rechts nach links und zurück, um die Contrastfarben gleich in voller Intensität zum Vorschein zu bringen. Die anfänglichen schwachen Contrastfärbungen waren schwächer, als sie beim monocularen Contrast zum Vorschein kommen. Noch schwächer war die Wirkung, wenn das Grau durch Weiß ersetzt wurde.

Die reinen Wirkungen des simultanen Contrastes auf den beiden grauen Streifen wurden also geschwächt durch die binoculare Vergleichung. Indem 789

das Grau des einen Sehfeldes dem des anderen binocular genähert wurde, wurde eine genauere Vergleichung zwischen den beiden Grau möglich, als vorher im monocularen Felde, wo die beiden Streifen durch weite Strecken Grün und Roth von einander getrennt waren. In dieser Beziehung verhalten sich also die Erscheinungen des successiven Contrastes, welche auf einer Veränderung der Empfindung durch Nachbilder beruhen, ganz anders, als die des simultanen Contrastes, welche wir als Irrthümer des Urtheils aufgefaßt haben. Erstere treten durch binoculare Vergleichung auffallender hervor, letztere werden im Gegentheile berichtigt.

Bei der bisher beschriebenen Form des Versuchs wurde eine binoculare Deckung der grauen Streifen mit farbigem Grunde vermieden, sie deckten sich vielmehr mit Schwarz. Nun kann man aber durch veränderte Convergenz der Augen ihre Bilder so weit aneinander schieben, daß sie sich nicht decken, sondern nur berühren. Bringt man sie in diese scheinbare Lage, während zunächst noch der weiße Bogen darunter liegt, überzeugt sich dabei von dem gleichen Aussehen des Grau an beiden Streifen und nimmt dann das weiße Papier fort, um den farbigen Grund sichtbar zu machen, so erscheint der von Roth umgebene Streifen, der sich binocular mit Grün deckt, entschieden grün, der andere, der von Grün umgeben ist und sich mit Roth deckt, ebenso entschieden roth. Man erhält ganz frappant den Eindruck, als fände eine binoculare Mischung des Grau mit den beiden Farben des Grundes statt. Schiebt man den weißen Bogen wieder unter die Glasplatte, so schwinden augenblicklich die Färbungen, wie es bei einer Mischung der Farben des Grundes mit dem Grau sein müßte.

Aber ein anderer Versuch zeigt, daß wir es hier nicht mit einer Mischung zu thun haben. Schließe ich das rechte Auge, wenn ich die Streifen complementär gefärbt vor mir sehe, so bleibt nur der von Grün umgebene Streif sichtbar, und obgleich eine Art rothen Schleiers sich von ihm zurückzieht, nämlich das ihn binocular deckende Roth, so bleibt seine Körperfarbe, das Grau, doch so röthlich, als es vorher war; das wäre nicht möglich, wenn das röthliche Aussehen des Grau nur auf einer (binocularen) Mischung mit Roth beruhte. So wie aus der Mischung das Roth fortfiel, müßte sich die ursprüngliche Farbe herstellen und eher durch den Contrast grünlich werden. Ich glaube vielmehr, daß der Erfolg dieser Versuche so zu erklären ist: Wir haben vorher gesehen, daß wenn in beiden Sehfeldern Grau enthalten ist und sich beides binocular mit Schwarz deckt, wir den Farbenton der beiden Grau sehr genau vergleichen können, und daß durch diese unmittelbare Vergleichung der beiden Grau Wirkungen monocularen Contrastes, die uns geneigt machen könnten, die beiden Grau für verschiedenartig zu halten, geschwächt werden. In dem letztbeschriebenen Versuche dagegen deckt sich Grau, welches von Roth umgeben ist, und welches wir deshalb geneigt sind, für grünlich zu halten, binocular mit Grün, und das andere durch Contrast mit der grünen Umgebung röthlich gefärbte Grau deckt sich binocular mit Roth. Hier kann diese binoculare Deckung der

beiden Flächen, welche zu vergleichen sind mit zwei verschiedenen und lebhaften Farben die Vergleichung sehr unsicher machen und daher den Contrast verstärken.

Schiebt man nachher eine weiße Fläche unter, an der die Augen ihr Urtheil über das Weiß wieder berichtigen können, so schwindet augenblicklich der Contrast. Auch wenn eine schwarze untergeschoben wird, so ist sogleich eine genaue und ungefälschte Vergleichung der beiden grauen Streifen möglich, welche den Contrast derselben schwinden macht. Wenn man dagegen nur ein Auge schließt, so treten keine Momente ein, die das Urtheil berichtigen könnten, und der Contrast bleibt bestehen.

Wir können das Resultat der bisher beschriebenen Versuche dahin zusammenfassen: Wenn im binocularen Felde das rechte Auge das Bild α , das linke das Bild β dicht neben einander erblickt und α sich mit dem Grunde b , β mit dem Grunde a deckt, so ist die Vergleichung der objectiven oder durch Nachbilder veränderten Färbung von α und β sehr genau, so oft der Grund a dieselbe Färbung wie b hat; sie ist dagegen sehr unsicher, so oft a und b verschiedene Farbe oder Beleuchtung haben. Ersteres zerstört monoculare Simultancontrast, letzteres begünstigt sie.

Bei einigen anderen Versuchen über binocularen Contrast kommt, wie bei vielen des monocularen Contrastes, in Betracht, daß wir die objectiven Farben der Körper von der Farbe einer weit verbreiteten Beleuchtung zu trennen geübt sind.

Dahin gehört zunächst FECHNER'S¹ sogenannter paradoxer Versuch. Man blicke nach einer weißen Fläche, schliesse und öffne abwechselnd das rechte Auge, so wird man finden, daß im Moment des Schlusses die weiße Fläche, welche nun nur noch vom linken Auge gesehen wird, ein wenig dunkler erscheint, als während der Öffnung beider Augen. Der Ausschluss des Lichtes von dem einen Auge bringt also, wie man erwarten mußte, eine Verdunkelung des Bildes hervor, freilich eine verhältnißmäßig außerordentlich schwache, für manche Augen kaum wahrnehmbare. Nun ändere man die Bedingungen des Versuchs dadurch ab, daß man vor das rechte Auge ein ziemlich stark verdunkelndes graues Glas nimmt. Wenn man jetzt das rechte Auge öffnet, erscheint die weiße Fläche im Gegentheil dunkler; wenn man es schließt, heller. Also wenn mehr Licht in die Augen fällt, haben wir scheinbare Verdunkelung, wenn weniger, Erhellung. Nimmt man immer hellere graue Gläser, so schwindet dieser negative Erfolg und geht endlich in den positiven über, den die freien Augen zeigen, nämlich Öffnung des geschlossenen Auges giebt Erhellung. Geht man im Gegentheil zu sehr dunkeln Gläsern über, so kommt man zuletzt an eine Grenze, wo es einerlei bleibt, ob das Auge hinter dem Glase offen oder geschlossen ist, indem das einfallende Licht keine in Betracht kommende Wirkung mehr ausübt. Eine mittlere Verdunkelung der Gläser giebt also ein Maximum des Erfolgs.

¹ FECHNER, *Abhandl. d. Sächs. Ges. d. Wiss.* VII, 416—463.

FECHNER selbst brauchte dazu Gläser, die zwischen 0,03 und 0,05 des einfallenden Lichts durchliessen. Statt der grauen Gläser kann sehr zweckmässig AUBERT'S oben (S. 417) beschriebener Episkotister angewendet werden.

791 Dafs die Bewegung der Pupille hierbei ohne Einflufs ist, wurde controllirt, indem der Beobachter mit dem freien Auge durch eine enge Öffnung von geringerem Durchmesser als die Pupille blickte. Man kann auch überhaupt bei diesen Versuchen enge Öffnungen in schwarzen Papierblättern, statt der dunklen Gläser, zur Verdunkelung des Bildes anwenden.

Der Erfolg dieses paradoxen Versuchs könnte so ausgelegt werden, als wenn die Lichtempfindung in dem einen Auge unter Umständen die im anderen Auge herabsetzte, als wenn also ein antagonistisches Verhältnifs zwischen beiden Netzhäuten bestände; aber eine leichte Modification des Versuchs beweist, wie ich gefunden habe, dafs es sich hier um ganz etwas anderes handelt.

Man stelle sich so auf, dafs man vor sich im Gesichtsfelde einen wohl begrenzten und contourirten weissen Gegenstand hat, z. B. eine weisse, den Fenstern gegenüber gelegene Thür, und wähle ein dunkles Glas, mit dem der paradoxe Versuch gut gelingt, wenn man nach dieser Thür hinblickt. Dann schiebe man zwischen die Thür und das von dem dunklen Glase bedeckte Auge nahe vor diesem ein weisses Blatt Papier so ein, dafs es diesem Auge die Thür verdeckt und das ganze Gesichtsfeld dieses Auges einnimmt. Indem man das Blatt mehr oder weniger schräg gegen das Licht wendet, wird man ihm leicht eine solche Beleuchtung geben können, bei der es eben so hell ist, wie die dahinter liegende Thür. Jetzt wiederhole man den Versuch, er wird den umgekehrten Erfolg geben, wie vorher. Öffnung des geschlossenen Auges hinter dem dunklen Glase und dem Papier läfst die Thür ganz wenig heller werden, indem sich eine Art lichten Nebels über sie ergiefst: das ist nämlich das binocular deckende Bild des weissen Papiers. Nachdem man dies constatirt hat, ziehe man nun das weisse Blatt fort, während beide Augen geöffnet sind, so dafs man mit beiden Augen die Thür sieht. Jetzt erscheint die Thür beträchtlich verdunkelt, obgleich die Helligkeit jener Stellen der beiden Sehfelder, in denen sie erscheint, ganz unverändert geblieben ist.¹

Diese Änderung des Versuchs zeigt, dafs es sich hierbei nicht um eine Änderung in der Empfindung des Lichts, sondern nur um eine Änderung unseres Urtheils über die Körperfarbe des weissen Objects handelt. Ist das eine Gesichtsfeld ausgefüllt mit Dunkel (bei geschlossenem Auge) oder mit gleichmäfsig vertheiltem schwachen Lichte (Bild des weissen Papiers durch das dunkle Glas gesehen), so rechnen wir diese gleichmäfsig und weit über die Grenzen des der Thür entsprechenden Gesichtsfeldes ausgedehnte Beleuchtung nicht der Körperfarbe der Thür zu, sondern bilden uns unser Urtheil über diese Farbe ganz allein nach der Aussage desjenigen Auges,

¹ Dafs es bei diesem Versuch darauf ankommt, ob man begrenzte oder unbegrenzte Flächen mit dem verdunkelten Auge sieht, hat auch Herr HERING beobachtet. (*Beiträge zur Physiologie.* S. 311–312.)

welches die Umriss der Thür erkennt. Höchstens erscheinen die Abänderungen der Beleuchtung im anderen Auge als ein dunkler oder heller Nebel, der sich vor die Thür und die übrigen Gegenstände hinlegt. Wenn wir aber mit dem verdunkelten Auge ebenfalls die Umriss der Thür erkennen und diese in dunklem Grau erblicken, so erscheint uns dieses Grau der Körperfarbe der Thür eben so angehörig, wie das Weiß des entgegengesetzten Auges, und die Thür selbst erscheint uns deshalb verdunkelt. Sie erscheint dann wie ein grauer, mit weißem Licht erhellter und glänzender Körper. Natürlich aber muß diese Verdunkelung ausbleiben, wenn entweder die Verdunkelung durch das Glas sehr gering ist und sich daher das im zweiten Auge hinzukommende Licht nur als Licht merklich macht, oder wenn im Gegentheil die Verdunkelung so groß ist, daß die Objecte kaum noch erkannt werden können. 792

Ähnliche Verhältnisse kommen auch monocular vor bei dem von SMITH und BRÜCKE¹ angegebenen Versuche, den FECHNER den seitlichen Fenster-versuch nennt. Man kann diesem Versuche eine andere Form geben, wie ich gefunden habe, bei der sich die Bedingungen des Erfolges noch sicherer übersehen lassen, als bei jener ersten Form. Ich habe eine planparallele Platte Uranglas in zwei Hälften theilen lassen. Dieses Glas sieht im Kerzenlicht ganz ungefärbt aus, weil es nur die violetten und einen Theil der blauen Strahlen absorbiert, deren Menge im Kerzenlicht sehr unbedeutend ist; bei Tage, wenn die Substanz des Glases selbst nicht stark erleuchtet ist, erscheinen weiße Gegenstände durch das Glas schwach gelblich. Wird die Masse des Glases selbst aber durch directes Sonnenlicht getroffen, so geht intensiv grünes Fluorescenzlicht von allen seinen Theilen aus. Wenn ich vor jedes Auge eine solche Platte Uranglas nehme, beide so beschattet, daß nur das von dem Objecte kommende Licht sie trifft, und das Bild eines weißen Feldes auf schwarzem Grunde in ein Doppelbild aus einander treibe, so erscheinen natürlich beide Bilder des weißen Feldes in gleicher gelblich weißer Farbe. Wenn ich nun aber das eine Glasstück von directen Sonnenstrahlen treffen lasse, so füllt sich das Sehfeld des dahinter stehenden Auges mit dem grünen Lichte der Fluorescenz, und nun sieht nach wenigen Bewegungen des Auges das zugehörige Doppelbild des Weiß, welches noch dazu mit grünem Licht übergossen ist, rosaroth aus, während das Doppelbild des anderen Auges heller und grünlich erscheint, obgleich es objectiv rein weiß ist. Wir haben also hier in dem Auge, welches durch das fluorescirende Glas sieht und dessen Grund deshalb gleichmäßig mit schwachem grünen Lichte bestrahlt wird, eine so vollständige Trennung des begrenzten Weiß von dem unbegrenzt ausgegossenen Grün, daß an jenem Weiß sogar die rosenrothe Färbung zum Vorschein kommt, welche durch die Ermüdung des Auges gegen Grün bedingt wird. Im Contrast dazu erscheint dann das andere nicht grüne Bild grünlich.

¹ S. oben S. 562—563.

Bei dem ursprünglichen Versuche von SMITH war es, wie wir oben gesehen haben, das rothe durch die Augenhäute eingedrungene Licht, welches das gleichseitige Bild dunkler und blaugrün, das andere roth erscheinen läßt. Dieses rothe Licht kann sichtbar gemacht werden, wenn man mit dem seitlich beleuchteten Auge schwarze Buchstaben auf weißem Grunde betrachtet; diese sehen hierbei oft leuchtend roth aus. Natürlich erscheint dann auch das dem seitlich beleuchteten Auge angehörige Halbbild eines in Doppelbilder aus einander geschobenen schwarzen Flecks auf weißem Grund röthlich in Vergleich mit dem des anderen Auges. Concentriert man dagegen durch eine Linse grünes oder blaues Licht auf einen Punkt der Sclerotica, so ist das weiße Bild in diesem Auge rosenroth oder gelb. Da die Erklärung dieses Versuches bezweifelt worden ist,¹ so ist die Modification desselben mit den Uranglasplatten, wobei alle concurrirenden Umstände deutlicher zu übersehen sind, wohl überzeugender.

Die Erscheinungen des binocularen Contrastes erklären sich also von dem von uns eingehaltenen Standpunkte leicht. Faßt man dagegen, wie es früher meist geschah, die Contrastfarben als Veränderungen der Empfindung auf, welche durch die Reizung einer Netzhautstelle in den benachbarten hervorgerufen werden, so folgt auch für den binocularen Contrast mit Nothwendigkeit, daß er durch Einwirkung der Empfindungen der einen Netzhaut auf die der anderen entstehe, und man hat deshalb hierin mit einem Grund für die angeborene anatomische Verbindung correspondirender Nervenfasern gesucht.

Es ist hier noch die von DOVE, dem Entdecker des stereoskopischen Glanzes, aufgestellte Erklärung dieser Erscheinung zu erwähnen. DOVE unterscheidet an glänzenden Körpern das von der Oberfläche reflectirte weiße und das aus den oberflächlichen Schichten der Substanz hervordringende gefärbte Licht. Glanz entsteht nach ihm dadurch, daß man die beleuchtete Körpersubstanz hinter der beleuchteten Oberfläche sehe, also zwei Arten von Licht, das eine durch das andere durchscheinend. Er glaubt nun, daß, wenn wir zwei Farben, z. B. Roth im einen, Blau im anderen Felde combiniren, wir auf verschiedene Entfernung derselben vom Auge schließen, weil wir verschiedene Accommodation anwenden müssen, um sie scharf zu sehen. Ich habe diese Erklärung nicht beibehalten, weil die seit Aufstellung derselben angestellten Versuche über Beurtheilung der Entfernung mittels der Accommodation, namentlich in einem Falle, wo, wie hier, die Convergenz der Augen constant erhalten werden muß, es mir höchst unwahrscheinlich machen, daß eine solche Wahrnehmung scheinbar verschiedener Entfernung der Farben möglich sei. Außerdem tritt die Schwierigkeit ein, daß Weiß und Schwarz zusammen combinirt auch Glanz geben. Hierbei glaubt DOVE nun annehmen zu dürfen, daß, weil Weiß die Pupille zusammenziehen macht, was ebenfalls bei stärkerer Accommodationsanstrengung geschieht, Schwarz sie aber erweitert, die Betrachtung von Weiß und Schwarz verschiedene Accommodationsgefühle gebe. Dagegen ist zu bemerken, daß bei den vorliegenden Versuchen gleichzeitig ein Auge Weiß, das andere

¹ FECHNER über den seitlichen Fenster- und Kerzenversuch. *Berichte der Kön. Sächsischen Ges. d. Wiss.* 1861. S. 27—56.

Schwarz sieht und beide Pupillen dabei dieselbe mittlere Weite einnehmen, zweitens, daß alle Accommodation sich nicht auf die Mitte einer gleichfarbigen Fläche, sondern nur auf ihre Contoure beziehen kann, und nicht einzusehen ist, wie daraus ein Unterschied des Accommodationsgefühls entstehen könne, daß im einen Bilde Weiß rechts, Schwarz links von der Grenze, oder Weiß über, Schwarz unter der Grenze liegt, im anderen umgekehrt. Ich habe deshalb die oben gegebene Erklärung als die einfachere der ursprünglichen des berühmten Entdeckers dieser Erscheinung zu substituiren mir erlaubt.

Geschichtliches. Der Wettstreit der Sehfelder erregte schon früh die Aufmerksamkeit der Beobachter. DU TOUR benutzte ihn schon, um seine Meinung, daß der Regel nach nur ein Auge auf einmal sehe, und wir deshalb die Objecte einfach sähen trotz der Anwesenheit zweier Augen, zu unterstützen. HALDAT wollte dagegen Mischung der Farben gesehen haben, was er mit der von NEWTON und später von WOLLASTON und J. MÜLLER angenommenen Hypothese von der anatomischen Vereinigung correspondirender 794 Sehnervenfasern in Zusammenhang brachte. Ihm schlossen sich an MÖNNICH, JANIN, WALTHER; während J. MÜLLER selbst, der die Lehre der Identität der Netzhautstellen und ihrer Consequenzen hauptsächlich ausgebildet hat und der gewiß am meisten dabei interessirt gewesen wäre, eine binoculare Farbenmischung zu sehen, keine solche erwähnt, sondern nur den Wettstreit gesehen hat. Wie auch die späteren Beobachter verschieden gertheilt haben, ist oben schon erwähnt. Es scheinen in dieser Beziehung sehr große individuelle Unterschiede zu bestehen. So lange man die Empfindung einer Mischfarbe als eine einfache Wirkung zweier combinirter Ursachen ansah, schien eine solche Empfindung nur in einer und derselben Nervenfasern zu Stande kommen zu können, und die Beobachtung wirklicher binocularer Farbenmischung schien deshalb den Beweis der anatomischen Verschmelzung je zweier correspondirender Fasern liefern zu können, und mußte andererseits bei Annahme einer solchen Hypothese auch nothwendig erwartet werden. Der YOUNG'schen Farbentheorie gegenüber verliert freilich dieser Punkt sehr an Wichtigkeit, wie schon oben hervorgehoben ist.

Ein wesentlicher Fortschritt war die Entdeckung der objectiven Bedeutung der binocularer Vereinigung verschiedener Farben oder Helligkeiten in dem Phänomen des stereoskopischen Glanzes durch DOVE. Der oben besprochenen Theorie dieses Phänomens, der sich auch BREWSTER anschloß (dabei, wie es scheint durch ein Mißverständniß, DOVE's eigene Theorie bekämpfend), stellte später zuerst J. J. OPPEL die oben vorgetragene einfachere entgegen. Ohne von diesem zu wissen, kam ich selbst auf dieselbe Ansicht der Sache und hob die Wichtigkeit des Phänomens für die Theorie der Empfindungen correspondirender Stellen hervor.

Die Phänomene des binocularer Contrastes wurden erst in den letzten Jahren studirt, namentlich durch FECHNER in einer sehr ausgedehnten Arbeit; einzelne dahin gehörige Beobachtungen waren schon früher von E. BRÜCKE, H. MEYER, PANUM gemacht worden.

§ 33. Kritik der Theorien.

Nachdem ich die Übersicht der Thatsachen, die sich bei der Unter- 796 suchung der Gesichtswahrnehmungen ergeben, beendigt habe, wird es nützlich sein, noch einmal einen Rückblick auf den Zusammenhang der theoretischen Vorstellungen zu werfen und zu prüfen, welche den Thatsachen gegenüber als zulässig, welche als unzulässig oder unwahrscheinlich erscheinen.

Es ist dabei von vorn herein zu bemerken, daß unsere Kenntniß der hierher gehörigen Erscheinungen noch nicht so vollständig ist, um nur eine Theorie zu erlauben und jede andere auszuschließen. Bei der Wahl zwischen

den verschiedenen theoretischen Ansichten scheint mir unter diesen Umständen bisher mehr eine Neigung zu gewissen metaphysischen Betrachtungsweisen, als der Zwang der Thatsachen, ihren Einfluß auf die verschiedenen Forscher ausgeübt zu haben, namentlich da in dem psychologischen Gebiete noch principielle Fragen hinzukommen, die in dem Bereiche der unorganischen Naturerscheinungen längst vollständig beseitigt sind.

Manche Naturforscher sind in der Lehre von den Gesichtswahrnehmungen, wie mir scheint, allzu bereit gewesen, allerlei anatomische Structuren zu supponiren oder auch neue Qualitäten der Nervensubstanz vorauszusetzen, welche nicht die geringste Ähnlichkeit mit dem haben, was wir sonst von den physikalischen und chemischen Eigenschaften der Naturkörper im Allgemeinen oder den Nerven im Besonderen bestimmt wissen, Structuren und Eigenschaften, welche nur dazu dienen, für ein oder einige wenige Phänomene des Sehens Erklärungen herzustellen, die wenigstens den äußeren Anschein naturwissenschaftlicher Erklärungen haben sollten, und bei denen die ganz unzweifelhafte Einmischung psychischer Phänomene entweder ganz geleugnet oder als relativ unwichtig hingestellt wurde.

Ich gebe zu, daß wir noch weit entfernt von einem naturwissenschaftlichen Verständniß der psychischen Erscheinungen sind. Die Möglichkeit eines solchen Verständnisses entweder absolut zu leugnen, wie die Spiritualisten, oder andererseits absolut zu behaupten, wie die Materialisten, dazu kann wohl die Neigung zu dieser oder jener Richtung der Speculation treiben; dem Naturforscher, der sich an die factischen Verhältnisse zu halten und deren Gesetze zu suchen hat, ist dies eine Frage, für welche er keine Entscheidungsgründe besitzt. Man muß nicht vergessen, daß der Materialismus ebenso gut eine metaphysische Speculation oder Hypothese ist, wie der Spiritualismus, und ihm deshalb nicht das Recht einräumen, in der Naturwissenschaft über factische Verhältnisse oder factische Grundlage entscheiden zu wollen.

797 Welche Ansicht man aber auch von den psychischen Thätigkeiten haben und welche Schwierigkeit ihre Erklärung auch bieten mag, so sind sie jedenfalls factisch vorhanden und ihre Gesetze sind uns bis zu einer gewissen Grenze wohlbekannt aus der täglichen Erfahrung. Ich für mein Theil halte es für sicherer, die Erklärung der Erscheinungen des Sehens anzuknüpfen an andere, freilich selbst noch weiterer Erklärung bedürftige, aber doch jedenfalls vorhandene und thatsächlich wirksame Vorgänge, wie es die einfacheren psychischen Thätigkeiten sind, als sie auf ganz unbekannte, nur *ad hoc* erfundene, durch keinerlei Analogie gestützte Hypothesen über die Einrichtung des Nervensystems und die Eigenschaften der Nervensubstanz zu gründen. Zu dem letzteren Schritte würde ich mich erst berechtigt glauben, wenn alle Versuche der Erklärung aus bekannten Verhältnissen gescheitert sein sollten.

Das letztere ist nun meines Erachtens aber bei der psychologischen Erklärung der Gesichtswahrnehmungen keineswegs der Fall; im Gegentheil

je aufmerksamer ich die Erscheinungen studirt habe, desto gleichmäßiger und übereinstimmender hat sich überall die Einwirkung der psychischen Vorgänge gezeigt, und desto consequenter und zusammenhängender stellte sich mir dieses ganze Gebiet von Erscheinungen dar.

Ich habe deshalb keinen Anstand genommen, in den vorausgehenden Paragraphen die Thatsachen durch Erklärungen, die wesentlich auf die einfacheren psychischen Vorgänge der Ideenassociation gestützt sind, in Verbindung und in Zusammenhang zu setzen. Dafs eine solche Ansicht nicht neu ist, habe ich in den geschichtlichen Übersichten schon erwähnt. Wenn in der jüngsten Zeit die Ansichten einzelner Physiker und Physiologen, die diese Richtung einschlugen, wie WHEATSTONE, VOLKMANN, H. MEYER, NAGEL, CLASSEN, WUNDT, mehr Opposition als Anerkennung fanden, so glaube ich, dafs dies, abgesehen von der Abneigung unseres Zeitalters gegen philosophische und psychologische Untersuchungen, davon herrührt, dafs es an einer zusammenhängenden Darstellung aller Erscheinungen dieses Gebietes fehlte, und deshalb von Seiten der unerledigten Erscheinungsgebiete immer wieder Zweifel aufstiegen gegen diejenigen, welche von den genannten Forschern bearbeitet waren. Ich habe deshalb die vorliegende Gelegenheit benutzt, um das ganze Gebiet nach dieser Richtung hin durchzuarbeiten und eine Übersicht davon zu geben.

Ich erlaube mir einen kurzen Überblick der zur Erklärung von mir benutzten Principien zu geben. Der Hauptsatz der empiristischen Ansicht ist: Die Sinnesempfindungen sind für unser Bewußtsein Zeichen, deren Bedeutung verstehen zu lernen unserem Verstande überlassen ist. Was die für den Gesichtssinn erhaltenen Zeichen betrifft, so sind sie verschieden nach Intensität und Qualität, das heifst nach Helligkeit und Farbe, und auferdem muß noch eine Verschiedenheit derselben bestehen, welche abhängig ist von der Stelle der gereizten Netzhaut, ein sogenanntes Localzeichen. Die Localzeichen der Empfindungen des rechten Auges sind durchgängig von denen des linken verschieden.

Wir fühlen auferdem den Grad der Innervation, die wir den Augenmuskelnerven zufliessen lassen. Die Anschauung der Raumverhältnisse und der Bewegung sind nicht nothwendig aus den Gesichtswahrnehmungen, oder wenigstens nicht aus diesen allein, herzuleiten, da sie bei Blindgeborenen ganz genau und vollständig auch unter Vermittelung des Tastsinnes gewonnen werden, sie können also für unseren Zweck als gegeben vorausgesetzt werden.

Durch Erfahrung können wir offenbar lernen, welche anderen Empfindungen des Gesichts oder der anderen Sinne ein Object, welches wir sehen, uns machen wird, wenn wir die Augen oder unsern Körper fortbewegen und jenes Object von verschiedenen Seiten betrachten, betasten u. s. w. Der Inbegriff aller dieser möglichen Empfindungen in eine Gesamtvorstellung zusammengefaßt, ist unsere Vorstellung von dem Körper, welche wir Wahrnehmung nennen, so lange sie durch gegenwärtige Empfindungen

unterstützt ist, Erinnerungsbild, wenn sie das nicht ist. In gewissem Sinne also, obgleich dem gewöhnlichen Sprachgebrauche widersprechend, ist auch eine solche Vorstellung von einem individuellen Objecte schon ein Begriff, weil sie alle die möglichen einzelnen Empfindungsaggregate umfaßt, welche dieses Object, von verschiedenen Seiten betrachtet, berührt oder sonst untersucht, in uns hervorrufen kann. Das ist der thatsächliche und reelle Inhalt einer solchen Vorstellung von einem bestimmten Objecte; einen anderen hat sie nicht, und dieser Inhalt kann ohne Zweifel unter Voraussetzung der oben genannten Data durch Erfahrung gewonnen werden.

Die einzige psychische Thätigkeit, die dazu gefordert wird, ist die gesetzmäßig wiederkehrende Association zweier Vorstellungen, die schon oft mit einander verbunden gewesen sind, welche Association desto fester und zwingender wird, je öfter die Wiederholung stattgefunden hat.

So weit also unsere durch Gesichtsbilder vermittelten Vorstellungen von den Objecten richtig sind, erklären sie sich einfach aus den vorangestellten Principien. Es fragt sich nun aber, wie ist es möglich, daß Sinnes-täuschungen vorkommen. Unter diesen müssen wir zwei Klassen unterscheiden. Erstens solche, bei denen die äußeren Umstände, unter denen die Einwirkung auf unsere Sinne geschieht, ungewöhnliche sind, wie bei der Betrachtung der optischen Bilder von Spiegeln, Linsen oder bei der Combination stereoskopischer Darstellungen. Hier wird der Eindruck, den bestimmte Objecte machen, unter ungewöhnlichen Bedingungen erzeugt. Obgleich wir dies wissen, ruft der Eindruck nach dem Gesetze der Vorstellungssociationen doch die Vorstellung der der Regel nach mit ihm verbunden gewesenen anderen Sinneseindrücke, das heißt die Vorstellung des betreffenden Objects hervor.

Die zweite Klasse von Sinnestäuschungen ist diejenige, wobei wir wirkliche Objecte bei ungewöhnlichem Gebrauche unserer Sinnesorgane falsch sehen. Zu ihrer Erklärung ist zu beachten, daß, sobald eine bestimmte Art des Gebrauchs unserer Sinneswerkzeuge geeignet ist, uns deutlichere und sicherere Wahrnehmungen der Objecte zu geben, als jede andere, wir jene, die wir deshalb die normale genannt haben, möglichst viel oder ausschließlich anzuwenden uns einüben. Brauchen wir dann unsere Sinnesorgane in abweichender Weise, so rufen die gewonnenen Eindrücke uns naturgemäß die Vorstellungen solcher Objecte hervor, welche beim normalen Gebrauche der Organe dieselben oder möglichst ähnliche Eindrücke gegeben haben würden.

Beim normalen Gebrauche der Augen kommt in Betracht, erstens, daß in jedem Auge die Centralgrube der Netzhaut die deutlichste Unterscheidung nahe neben einander gelegener Bilder zuläßt, zweitens, daß wir deutliche Eindrücke nur behalten, wenn wir durch fortwährende Augenbewegungen die Ausbildung scharf gezeichneter Nachbilder vermeiden, drittens, daß wir an einer ausgedehnten Fläche von gleichmäßiger Beleuchtung alles deutlich gesehen haben, was an ihr deutlich zu sehen ist, wenn wir alle

Theile ihres Umfangs deutlich gesehen haben. Daraus ergibt sich, daß wir beim normalen Gebrauche der Augen beide Blicklinien auf den Punkt richten, der gerade unsere Aufmerksamkeit in Anspruch nimmt, und die Augen für ihn accommodiren, dieselben aber niemals längere Zeit unbewegt lassen, was auch dem eigenthümlichen Bewegungstrieb unserer Aufmerksamkeit nicht entsprechen würde, vielmehr den Blick namentlich an den Contouren der gesehenen Objecte entlang laufen lassen.

Daraus folgt die gewohnheitsmäßige Verbindung der Bewegungen beider Augen miteinander und mit der Accommodation; eine Gewohnheit, gegen die so schwer anzukämpfen ist und die doch jeden Augenblick durch willkürliche Anstrengung überwunden werden kann, wie oben gezeigt wurde, wenn man die Augen allmählig unter Bedingungen bringt, wo nur mittels ungewöhnlicher Verbindungen die Zwecke des Sehens erreicht werden können. Daraus folgt ferner die Schwierigkeit, den Blick längere Zeit gegen die eingübte Gewohnheit auf einem Punkte festzuhalten, daraus der große Einfluß hervortretender Contouren auf unsere Aufmerksamkeit und auf die Bewegung unseres Blicks; daraus auch weiter, daß unsere Aufmerksamkeit so schwer zu einer genaueren Analyse der Erscheinungen des indirecten Sehens, des blinden Flecks, der Doppelbilder und so weiter, festzuhalten ist, indem wir gewohnheitsmäßig sogleich unseren Blick auf die die Aufmerksamkeit beschäftigenden Stellen hinzuwenden streben. Daher wir denn auch hauptsächlich wegen der gewohnheitsmäßig eintretenden Augenbewegungen selbst die stärker auseinander weichenden Doppelbilder der vor uns befindlichen Gegenstände nicht zu sehen pflegen und sie eben deshalb vielen, selbst erwachsenen Leuten unbekannt bleiben.

Daß die Verbindung zwischen der Kaddrehung jedes einzelnen Auges und der Richtung der Gesichtslinie unter dieselbe Kategorie fällt, daß sie unter abgeänderten Bedingungen des Sehens zu Gunsten der optischen Zwecke selbst abgeändert werden kann, habe ich oben gezeigt und versucht die Sicherheit der Orientirung, vermöge deren wir die unveränderte Lage ruhender Gegenstände trotz der Verschiebungen ihres Bildes auf der Netzhaut erkennen, als denjenigen Zweck nachzuweisen, der durch die Erfüllung des LISTING'schen Gesetzes für unsere Augenbewegungen so weit als möglich erreicht wird.

Da nachweisbar zu Gunsten von optischen Zwecken von allen diesen Gesetzen der Augenbewegungen Ausnahmen unter dem Einflusse willkürlicher Anstrengung eintreten können, so können diese Gesetze nicht auf mechanisch wirkende anatomische Einrichtungen begründet sein; andererseits halte ich es nicht für unmöglich, sondern sogar für wahrscheinlich, daß das Wachstum der Muskeln und vielleicht selbst die Leitungsfähigkeit der Nervenbahnen sich den Forderungen, die an sie gemacht werden, im Laufe jedes individuellen Lebens und vielleicht selbst durch Vererbung im Laufe des Lebens der Gattung so anpaßt, daß die geforderten zweckmäßigsten Bewegungen auch die leichtesten werden. Jedenfalls ist dieser anatomische 800

Mechanismus, so weit ein solcher besteht, nur erleichternd, nicht zwingend.

Mittels der Augenbewegungen ist es ferner möglich, die Ordnung der gesehenen Punkte im Gesichtsfelde kennen zu lernen, das heisst, zu lernen, welche Localzeichen der Empfindungen den einander unmittelbar benachbarten Punkten entsprechen. Das specielle Gesetz der Augenbewegungen bestimmt dann weiter, welche Raumgrößen des Gesichtsfeldes ihrer Größe nach genau mit einander verglichen werden können, welche nicht. Genau verglichen werden diejenigen, deren Bild durch bloße Bewegung des Auges auf denselben Punkten oder Linien der Netzhaut abgebildet werden kann; eine Regel, welche durch die Thatsachen durchaus bestätigt wird. Dagegen finden sich bei der Vergleichung solcher Raumgrößen, die nicht auf denselben Netzhauttheilen abgebildet werden können, theils constante, theils inconstante Fehler. Die constanten Fehler lassen sich zum Theil darauf zurückführen, daß wir (wenigstens als Kinder, während der Ausbildung unseres Auges) als häufigstes Gesichtsubject entferntere Gegenstände und den bis zu ihnen hin sich erstreckenden Fußboden vor Augen haben. Ich erinnere an die Abweichung der scheinbar verticalen Meridiane und an die falsche Zeichnung der Quadrate.

Endlich zeigt sich der Einfluß des Gesetzes der Augenbewegungen auch in der Führung der scheinbar geraden (oder kürzesten) Linien des Gesichtsfeldes. Verlegen wir die Blicklinie in ihre Primärlage, welche wir als ihre häufigste und wichtigste Stellung betrachten dürfen, so sind es diejenigen Linien, die nach dem Gesetze der Augenbewegungen sich in sich selbst verschieben können.

Ich habe die Ableitung dieser Gesetze auf gar keine bestimmte Annahme über die Art der Localzeichen begründet. Sie würde passen, auch wenn diese Zeichen ganz willkürlich über die Netzhaut ausgewürfelt wären, ohne daß irgend welche Ähnlichkeit der Localzeichen benachbarter Punkte vorausgesetzt würde. Es würde dadurch allerdings die Schwierigkeit der Einübung beträchtlich erhöht werden. Ich halte es dagegen nicht für unwahrscheinlich und der Analogie anderer organischer Einrichtungen gemäß, daß die Localzeichen benachbarter Punkte einander ähnlicher seien, als die entfernter Punkte, und daß somit die Art des Localzeichens eine continuirliche Function der Coordinaten der Netzhautpunkte sei. Indessen wie auch dieses System der Localzeichen, von welcher Art sie selbst sein mögen, so kann ihre besondere Einrichtung die Orientirung wohl erleichtern; aber auch hier fordern die Consequenzen der empiristischen Theorie, mit denen die Erscheinungen durchaus übereinstimmen, daß jede solche Einrichtung nur erleichternd für die Einübung des Augenmaasses, nicht entscheidend für seine definitiven Resultate sei.

Zu diesen anatomischen Einrichtungen gehört dann auch die Zahl der empfindlichen Elemente zwischen je zwei Netzhautpunkten. Diese mag namentlich bei der Unterscheidung sehr kleiner Distanzen nicht unwichtig

sein, nach dem Gesetze, daß deutlich unterscheidbare Größen beim Mangel anderer Hilfsmittel der Beurtheilung uns größer erscheinen, als undeutlich unterscheidbare. Daß die Anzahl der empfindlichen Elemente bei der Schätzung der größeren Distanzen ohne allen Einfluß sei, ist oben gezeigt worden.

Für die empiristische Theorie ist es übrigens ganz gleichgültig, wie die Netzhaut gestaltet ist, wie das Bild auf ihr liegt und wie es verzerrt ist, wenn es nur scharf begrenzt ist; sie hat es nur und allein zu thun mit der Projection der Netzhaut, welche die optischen Medien nach außen entwerfen.

Die Richtung, in der die gesehenen Objecte sich zu unserem Körper befinden, wird beurtheilt mit Hilfe der Innervationsgefühle der Augenmuskelnerven, aber fortdauernd controllirt nach dem Erfolge, das heißt nach der Verschiebung der Bilder, welche die Innervationen hervorbringen. Sehen wir durch Prismen und nehmen wir dabei Bewegungen mit unserem Körper und unseren im Gesichtsfelde erscheinenden Händen vor, so lernen wir bald, trotz der falschen Richtung der einfallenden Strahlen durch das Prisma richtig sehen. Die Erscheinungen des Bewegungsschwindels zeigen ebenso eine Veränderung in der Beurtheilung der Wirkung gewisser Innervationen an.

Wir beurtheilen den absoluten Grad der Convergenz unsicherer, als die gleich gerichteten Bewegungen beider Augen, vielleicht weil für die Convergenz eine anhaltendere Ermüdung zu Stande kommen kann, welcher nicht durch Ermüdung für Divergenz das Gleichgewicht gehalten wird, während eine längere Wendung der Augen nach rechts nicht leicht ohne dazwischenfallende Wendungen nach links vorkommen möchte, wobei die Ermüdung sich gleichmäßiger auf die antagonistischen Muskeln vertheilt.

Theils deshalb, theils aber auch, weil wir consequent die subjectiven Momente in unseren Sinnesempfindungen unbeachtet lassen und also bei Fixirung eines nahen Gegenstandes die ganze Summe von Gesichtseindrücken und Innervationsgefühlen nur als das sinnliche Zeichen für ein dort gelegenes Object betrachten, ohne zu analysiren, welche Eindrücke dem rechten oder linken Auge angehören, welche Stellung dieses oder jenes hat, beurtheilen wir die Richtung der Objecte gegen unseren Körper nach der gemeinsamen mittleren Richtung beider Augen, auch wenn wir nur mit einem Auge das Object wirklich sehen. Es entspricht dies der Regel, daß wir bei Eindrücken, die wir unter ungewöhnlicher Art des Gebrauches der Organe (einäugigem Sehen) erhalten, nach der Ähnlichkeit mit den Eindrücken bei normalem Gebrauch (doppeläugigem Sehen) urtheilen; daher die von J. TOWNE und E. HERING aufgefundene Regel für die Projection der Gesichtsbilder nach außen, mit den Modificationen, die ich für die Raddrehungen bei schrägen Blickrichtungen habe anbringen müssen.

Wir kommen jetzt zum doppeläugigen Sehen. So lange wir im objectiven Gebiete verweilen, beim Sehen von Körpern oder von stereo-

skopischen Bildern, sind die Erscheinungen einfach zu erklären und leicht verständlich nach der empiristischen Theorie; auch ist der Einfluss der Erfahrung in diesem Gebiete meistens selbst von den Anhängern nativistischer Theorien, mit Ausnahme einiger der neusten Arbeiten, anerkannt worden. Die Täuschungen, welche hier vorkommen, erklären sich aus der Unsicherheit der Schätzung der Convergenz. Wenn wir den Augen Bilder zeigen, welche von reellen Objecten nur bei einem bestimmten Grade der Convergenz gegeben sein könnten, so geben wir ihnen die entsprechende Deutung, auch wenn zur Zeit wirklich ein anderer Grad von Convergenz besteht.

802 Dazu kommt, dass wir wegen der mangelnden Sicherheit des Convergenzgefühls, auch keine Sicherheit in der Beurtheilung der Differenzen der Radrehungen haben, welche die convergenten Augen bei gehobener und gesenkter Blickebene zeigen. Wenn daher die Abweichungen in den Linien der gesehenen Bilder uns nicht aufmerksam machen, dass Drehung vorhanden sei, so urtheilen wir so, als ob keine da wäre, und es treten dann die von RECKLINGHAUSEN und von HERING beschriebenen Täuschungen ein.

Wenn nun aber bei festgehaltenem Fixationspunkte die Aufmerksamkeit der flächenhaften Anordnung der Gegenstände im Gesichtsfelde zugelenkt wird, so sieht jedes Auge eine andere Anordnung derselben und die beiden Bilder können nicht ganz congruiren; wenn also einzelne Punkte derselben congruiren, so müssen andere Punkte der Bilder disparat sein und diese erscheinen dann an zwei verschiedenen Stellen des gemeinschaftlichen Sehfeldes, als Doppelbilder. Punkte der Netzhäute, beziehlich Punkte der beiden Sehfelder, deren Bilder im gemeinschaftlichen Gesichtsfelde zusammenfallen, hat man identische oder correspondirende Punkte genannt.

In Bezug auf die Natur der correspondirenden Punkte ergeben nun die Thatsachen mit Entschiedenheit so viel:

1. Die Bilder correspondirender Punkte werden in der Regel in dieselbe, die Bilder nicht correspondirender Punkte in verschiedene Stellen des gemeinschaftlichen Gesichtsfeldes verlegt; doch kommen kleinere Abweichungen von beiden Theilen dieser Regel vor, wenn wir die beiden Bilder zur Anschauung eines körperlichen Objects vereinigen.

2. Die Empfindungen, welche durch die Erregung correspondirender Netzhautpunkte hervorgebracht werden, sind nicht identisch, sondern verschieden. Wir müssen dies nothwendig schliessen aus der Thatsache, dass wir auch beim Lichte des elektrischen Funkens von einer stereoskopischen Linienzeichnung immer das richtige Relief erhalten. Wären die Empfindungen correspondirender Punkte ununterscheidbar gleich, so müsste ebenso oft und ebenso leicht das umgekehrte Relief erscheinen.¹ Wir schliessen dasselbe zweitens daraus, dass verschiedene Beleuchtung oder Färbung entsprechender

¹ DONDERS giebt an (*Anomalies of accommodation and refraction*. London 1864, p. 162 und 166), dass bei unbewegtem Auge oft das pseudoskopische Bild statt des stereoskopischen erscheine. In einer später erschienenen Abhandlung im *Nederlandsch Archief* (1866), wo er ähnliche Vorsichtsmaassregeln angewendet hat, wie oben S. 890 angegeben sind, hat er aber im Wesentlichen dieselben Resultate, wie AUBERT und ich erhalten.

Flächen in zwei stereoskopischen Bildern eine andere Anschauung, nämlich die des Glanzes, hervorbringt als jede, wie immer gewählte, gleichartige Färbung beider Flächen. Dafs hierbei Augenbewegungen und der Wettstreit der beiden Sehfelder keinen Einflufs haben, zeigt sich namentlich bei der Beleuchtung auch dieser Bilder mit dem elektrischen Funken.

3. Unter dem Einflufs habitueller abnormer Augenstellungen bei Schielenden ändert sich das Verhältnifs der Correspondenz der beiden Netzhäute.

Hieraus schliesse ich, dafs jede anatomische Hypothese unzulässig ist und unvereinbar mit den Thatsachen, welche eine vollständige Verschmelzung der beiderseitigen Empfindungen voraussetzt, also namentlich jede, welche eine Vereinigung der von correspondirenden Netzhautstellen kommenden Fasern zu einer Faser annimmt, die den beiderseitigen Eindruck ungetrennt dem Gehirne zuleiten soll. Nur eine solche Form der anatomischen Hypothese würde mir zulässig erscheinen, wonach beide Eindrücke theils gesondert, theils aber auch mit einer gemeinsamen oder gleichen Wirkung im Gehirn zur Perception kommen; also etwa so, dafs die Faser A von dem rechten Auge sich spaltet in die Fasern a und α , die correspondirende Faser B in die Fasern b und β , dafs a und b gesondert in das Centralorgan des Sehens eintreten und verschiedene Eindrücke hervorbringen, α und β aber sich vereinigen, um einen beiden gemeinsamen dritten Eindruck zu machen.

Eine so modificirte Annahme würde mir zulässig, aber weder wahrscheinlich noch nothwendig erscheinen. Vielmehr ergeben die Consequenzen der bisher aufgestellten Erklärungen auch hier eine, wie mir scheint, vollständig genügende Erklärung ohne eine solche Annahme. Beim normalen Sehen sind immer die Blicklinien auf denselben objectiven Punkt gerichtet, dem gleichzeitig auch die Aufmerksamkeit zugewendet ist; auf allen anderen Punkten der Netzhäute dagegen kommen bald gleiche, bald ungleiche Eindrücke vor; daher wird vor allen Dingen die Localisation der Eindrücke der Netzhautgruben eine übereinstimmende. Ist es dagegen wegen einer Erkrankung der Muskeln nicht möglich, die dazu gehörige Stellung der Augen herbeizuführen, und wird dafür eine andere Stellung habituell, so bestimmt diese auch, mit welchem Punkte der anderen Netzhaut die Netzhautgrube jedes Auges correspondent wird.

Die Identität der Meridiane bestimmt sich danach, wo sich am häufigsten Reihen derselben Punkte abbilden. Dies geschieht zunächst in der Primärstellung der Blickebene, die wir als mittlere und gewöhnlichste Stellung dieser Ebene betrachten dürfen, auf den Netzhauthorizonten. Demnächst scheinen bei vielen normalsichtigen Augen die nach dem Horizont hinlaufenden Linien des Fußbodens einen bestimmenden Einflufs auf die Lage der verticalen correspondirenden Meridiane auszuüben.

Sind diese beiden Paare correspondirender Meridiane bestimmt, so bestimmen sich die übrigen Abmessungen der Sehfelder und damit die Lage der congruirenden Punkte in beiden vollständig nach dem oben beschriebenen Verfahren mittels der Augenbewegungen.

Da hiernach die Vergleichung der Dimensionen beider Sehfelder und die Lage der congruenten Punkte in ihnen ein Ergebniß der Ausbildung des Augenmaafses ist, so sind kleine Irrungen in diesen Abmessungen möglich, wenn sich mit großer Lebhaftigkeit die Anschauung körperlicher Einheit der beiden Bilder aufdrängt. Sind die Entfernungen der Doppelbilder von einander dagegen sehr auffallend, so kann eine annähernd richtige Deutung derselben mit der Wahrnehmung ihrer Trennung im Gesichtsfelde zusammen bestehen. Alles, was die Vereinigung der Doppelbilder zum körperlichen Anschauungsbilde erschwert oder die Vergleichung ihrer Lage im Gesichtsfelde erleichtert, Vermeidung aller Augenbewegungen und Übung in ihrer Beobachtung macht sie leichter sichtbar. Je nach der Richtung der Aufmerksamkeit kann man solche, die an der Grenze der Wahrnehmbarkeit liegen, auch beim Lichte des elektrischen Funkens, welches allen Einflüssen der Augenbewegungen aufhebt, bald sehen, bald nicht sehen. Alles dies sind Umstände, die mit der aufgestellten Erklärung sehr gut zusammenstimmen und aus ihr hergeleitet werden können.

Die Erscheinungen des Wettstreits endlich hängen von der Eigenthümlichkeit unseres Bewußtseins ab, daß es entweder nur einen Eindruck auf ein Mal, oder nur ein solches Aggregat von Eindrücken aufnehmen kann, die sich zu einer einfachen Vorstellung verbinden. Abgesehen von den bekannten täglichen Erfahrungen zeigt sich diese Eigenthümlichkeit desselben sehr deutlich bei der bekannten Zeitdifferenz zwischen den Gesichts- und Gehörwahrnehmungen in der astronomischen Beobachtung der Sterndurchgänge, ferner in der kleinen Zahl von Gesichtsubjecten, die man beim Lichte des elektrischen Funkens und während der kurzen Nachdauer seines Eindrucks wahrnehmen kann. Die Form der Vereinigung der Eindrücke beider Sehfelder ist die Anschauung körperlicher Objecte. Wo diese wegen der Art der beiden Bilder mißlingt, tritt das im Wettstreit der Sehfelder sich zeigende Schwanken der Aufmerksamkeit ein, wenn diese nicht durch scharf gezeichnete Contouren des einen Feldes gefesselt ist. Ich habe oben die Methoden beschrieben, nach denen es gelingt, die Aufmerksamkeit auf eines der Felder zu fesseln und dem Schwanken ein Ende zu machen. Dadurch besonders kann auch der Nachweis geführt werden, daß dieser Wettstreit nur ein Phänomen der Aufmerksamkeit ist.

Aus dieser Übersicht der aufgestellten Erklärungen geht hervor, daß dabei von den psychischen Vorgängen nur die unwillkürlich erfolgenden der Ideenassociation und des unwillkürlichen Flusses der Vorstellungen in Betracht kommen, welche nicht unter der directen Herrschaft unseres Selbstbewußtseins und unseres Willens stehen, wenn wir auch dadurch, daß wir selbstbewußte Vorstellungen und Zwecke mit jenen in Concurrenz bringen, einen gewissen Einfluß auf deren Lauf haben können. Eben darin liegt es nun, daß die Ergebnisse jenes Ablaufs der Vorstellungen uns entgegentreten als durch eine Macht gegeben, die wir nicht oder nur zum kleinen Theile beherrschen können, und die unserem Willen und Selbstbewußtsein daher

als eine fremde, objective Naturmacht entgegentritt, gerade wie die unmittelbar von außen gegebenen sinnlichen Empfindungen. Was also von Resultaten psychischer Vorgänge dieser Art sich mit den Sinnesempfindungen verbindet, erscheint uns ebenso durch äußeren Einfluß gegeben wie die unmittelbare Empfindung, und nicht durch selbstbewusste und freie Überlegung gefunden, nicht von uns erdacht. In dieser Beziehung hat die empiristische Ansicht vielfältiges Mißverständniß von Anhängern sowohl, als von Gegnern erfahren, und ich mache deshalb auf diesen Punkt noch besonders aufmerksam. Will man diese Vorgänge der Association und des natürlichen Flusses der Vorstellungen nicht zu den Seelenthätigkeiten rechnen, sondern sie der Nervensubstanz zuschreiben, so will ich um den Namen nicht streiten. Hier würde die empiristische Theorie mit derjenigen Form der nativistischen, wie sie PANUM zum Beispiel aufgestellt hat, sich vielleicht vereinigen lassen, nur daß er als natürlich gegeben ansieht, was mir nur durch die Erfahrung gewonnen zu sein scheint.

Was nun die verschiedenen nativistischen Theorien betrifft, so ist ihr Kernpunkt, daß sie die Localisation der Eindrücke im Gesichtsfelde von einer angeborenen Einrichtung ableiten, entweder so, daß die Seele eine directe Kenntniß der Ausdehnungen der Netzhaut haben soll, oder so, daß in Folge der Reizung bestimmter Nervenfasern gewisse Raumvorstellungen vermittels eines angeborenen, nicht weiter definirbaren Mechanismus entstehen. J. MÜLLER namentlich hat diese Ansicht in der ersten Form durchgeführt. Er sagt:¹ „Der Begriff des Raumes kann nicht erzogen werden, vielmehr ist die Anschauung des Raumes und der Zeit eine nothwendige Voraussetzung, selbst Anschauungsform für alle Empfindungen. Sobald empfunden wird, wird auch in jenen Anschauungsformen empfunden. Was aber den erfüllten Raum betrifft, so empfinden wir überall nichts, als nur uns selbst räumlich, wenn lediglich von Empfindung, von Sinn die Rede ist; und so viel unterscheiden wir von einem objectiven erfüllten Raum durch das Urtheil, als Raumtheile unserer selbst im Zustande der Affection sind, mit dem begleitenden Bewußtsein der äußeren Ursache der Sinneserregung. Die Netzhaut sieht in jedem Sehfelde nur sich selbst in ihrer räumlichen Ausdehnung im Zustande der Affection; sie empfindet sich selbst in der größten Ruhe und Abgeschlossenheit des Auges räumlich dunkel.“

Diese Ansicht erweitert daher die von KANT aufgestellte Ansicht, daß Raum und Zeit ursprünglich gegebene Formen unserer Anschauungen seien, dahin, daß auch die specielle Localisation jedes Eindrucks durch die unmittelbare Anschauung gegeben sei. Die meisten deutschen Physiologen folgten dieser Ansicht von MÜLLER, und es wurden von ihnen mancherlei Erklärungen der Gesichterscheinungen auf die besonderen Eigenthümlichkeiten der Form der Netzhautbilder gebaut. So hat RECKLINGHAUSEN² die Abweichung der scheinbar rechten Winkel dadurch zu erklären versucht,

¹ J. MÜLLER, *Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtsinns* S. 54 ff.

² RECKLINGHAUSEN, *Netzhautfunctionen*, *Archiv für Ophthalmologie*. V. 2, S. 128—141.

dafs die Fläche der Netzhaut schief gegen die Gesichtslinie des Auges gerichtet sei und deshalb die optischen Bilder eines rechten Winkels in dem Netzhautbilde schiefwinklig werden könnten. Diese Beschaffenheit der Netzhautbilder sollte dann unmittelbar wahrgenommen werden können. E. HERING¹ und A. KUNDT² haben sogar angenommen, die Seele schaute die Entfernungen zwischen zwei Netzhautpunkten direct nicht nach dem Bogen auf der Netzhaut, sondern nach der Sehne an, und versuchten daraus die Erklärung der oben beschriebenen Täuschungen der monocularen Localisation im Gesichtsfelde herzuleiten. Dafs diese Hypothese zur Erklärung derjenigen Erscheinungen, zu deren Gunsten sie allein erfunden ist, keineswegs genügt, ist oben schon angeführt worden.

Die besprochene Annahme der nativistischen Theorien ist eigentlich eine Verzichtleistung auf jede Erklärung der Localisationsphänomene. Darüber läfst sich natürlich nicht weiter rechten, und namentlich kann es J. MÜLLER in keiner Weise zum Tadel gereichen, dafs er zu einer Zeit, wo noch alle Beobachtungen über das Gesetz der Augenbewegungen fehlten, und aus einem Versuche, diese für die Erklärung der Localisation zu gebrauchen, nichts als ganz vage Folgerungen gezogen werden konnten, in seinen Erklärungsversuchen nicht weiter zu gehen geneigt war. Dafs dagegen aus dem Gesetze der Augenbewegungen, soweit wir es bisher in seinen Grundzügen kennen, sich auch die Grundzüge des Augenmaafses herleiten lassen, die in der nativistischen Ansicht gar keine weitere Erklärung finden, habe ich oben zu zeigen mich bemüht.

Eine nothwendige Consequenz der erwähnten Ansicht, dafs die Localisation der Eindrücke im Gesichtsfelde ursprünglich gegeben sei, ist dann die, dafs auch ursprünglich gegeben sein muß, welche Punkte der einen Netzhaut mit denen der anderen dieselbe Localisation geben, also correspondirend, oder, wie die nativistische Ansicht es bezeichnet hat, identisch sind. Hier in der Lehre von der angeborenen und anatomisch begründeten Identität, welche also als eine nothwendige Consequenz der nativistischen Ansicht betrachtet werden muß, treten nun aber die schon oben bezeichneten wesentlichen Schwierigkeiten dieser Ansicht auf; daher dieses Gebiet auch immer der Haupttummelplatz der Streitigkeiten gewesen ist.

Erstens nämlich konnten die Beobachtungen der körperlich ausgedehnten Objecte schon lehren, und zeigte namentlich die Erfindung des Stereoskops durch WHEATSTONE, dafs wir keineswegs immer Doppelbilder sehen, wo nach der strengen Identitätstheorie dergleichen zu erwarten sind, und dafs dieselben unter dem Einflusse der Anschauung körperlicher Ausdehnung verschwinden. Nun wurde zwar von BRÜCKE mit Recht der grofse Einflufs der Augenbewegungen hierbei hervorgehoben; indessen auch wenn man diesen Einflufs eliminirt, bleibt doch immer die Thatsache bestehen, dafs auch der

¹ HERING, *Beiträge zur Physiologie*. Heft 1, S. 65—80.

² KUNDT, *Poggendorff's Annalen*. 1863. CXX, 118—158.

geübteste Beobachter gewisse einander nahe stehende ähnliche Doppelbilder mit einander untrennbar verschmilzt, während er einander eben so nahe stehende ähnliche Bilder im monocularen Felde, oder in der Färbung verschiedene Bilder im binocularen Felde mit der grössten Leichtigkeit von einander unterscheidet. Noch gröfseren Anstofs haben die Anhänger der Identitätstheorie an der von WHEATSTONE behaupteten Thatsache genommen, dafs unter Umständen auch die Eindrücke identischer Netzhauptpunkte getrennt und an zwei verschiedene neben einander liegende Stellen des Objects verlegt werden könnten. Dafs das letztere aber eine nothwendige Consequenz des ersteren sei und bei richtig angestellten Versuchen auch thatsächlich beobachtet werde, habe ich oben ausgeführt. Man mufs nur nicht, wie es von den Gegnern der Behauptung WHEATSTONE'S immer geschehen ist, verlangen, dafs bei der Trennung identischer Eindrücke viel mehr geleistet werde, als bei der Vereinigung disparater Eindrücke unter gleichen Umständen geleistet werden kann.

Das wesentliche Gewicht der Thatsachen anerkennend, stellte PANUM eine Modification der Identitätstheorie auf, wonach jeder Punkt a der einen Netzhaut einem gewissen correspondirenden Empfindungskreise A in der andern identisch sein sollte, so dafs das Bild des Punktes a verschmelzen könnte mit einem Bilde auf jedem einzelnen Punkte von A , welches ähnliche Contouren darböte. Dabei sollte aber eine verschiedene Tiefenwahrnehmung entstehen, wenn a mit verschiedenen Punkten des Kreises A verschmolze. Ob es mit diesem oder jenem verschmolze, sollte davon abhängen, wo sich im Empfindungskreise A eine Contour vorfände, die der durch a hinziehenden ähnlich sei. Aus den Wettstreiterscheinungen beweist PANUM die dominirende Macht der Contouren im gemeinschaftlichen Gesichtsfelde beider Augen, wobei er freilich wohl den Sieg der Contouren als zu unbedingt und dauernd betrachtet hat. Wettstreit findet nach ihm hauptsächlich zwischen unähnlichen, aber nahe gleich starken Farben und Contouren statt. Ähnliche streben zu verschmelzen. 807

Wenn man die von PANUM aufgestellten Sätze bloß als zusammenfassenden Ausdruck der Thatsachen ansehen will, was er selbst auch als das Wesentlichere und Wichtigere betont, so sind sie der Hauptsache nach richtig. Ich würde gegen seine Darstellung der Thatsachen nur einzuwenden haben, 1. dafs ich mich von der wirklichen Existenz binocularer Mischfarben auch in den von ihm beschriebenen Versuchen nicht habe überzeugen können, 2. dafs Herr PANUM keine genügenden Methoden die Aufmerksamkeit zu fesseln, angewendet und daher die grofse Rolle, welche die Aufmerksamkeit bei dem Wettstreite der Sehfelder und bei der Unterscheidung der Doppelbilder spielt, nicht genügend erkannt hat, 3. dafs er die Augenbewegungen beim Fixiren der Bilder für theilweis unwillkürliche Reflexbewegungen hält, während ich selbst bei mir wohl eine Neigung zu gewissen gewohnheitsmäfsigen Stellungen anerkennen kann, die aber nicht im geringsten die Willkür der Bewegung beeinflusst, wenn ich eine andere Stellung der Blick-

punkte hervorzubringen wünsche, 4. dafs bei der Verschmelzung der Doppelbilder doch nicht blos die Ähnlichkeit der Contouren und der Grad der Annäherung an eine correspondirende Lagerung entscheidet, sondern auch die Anwesenheit oder Abwesenheit anderer Vergleichungspunkte für die richtige Abmessung der scheinbaren Lage beider Contoure im gemeinsamen Gesichtsfelde. Das Letztere hatten schon BERGMANN'S¹ Versuche gezeigt, und in ähnlicher Weise zeigt es der oben S. 892 beschriebene Versuch an *Fig. U*, selbst wenn man von VOLKMANN'S Versuchen absehen wollte, gegen welche PANUM den Einwand erhoben hat, dafs in ihnen kleine, wenn auch unbedeutende Veränderungen der Contouren durch zugesetzte Linien und Punkte angebracht sind, die an der Stelle das Verschmelzen hindern. Aber wie BERGMANN'S und meine Versuche zeigen, hindern auch correspondirend gelegene Linien, welche beide auf der gleichen Seite von zwei disparaten liegen und die Ähnlichkeit von deren Contouren gar nicht beeinträchtigen, das Verschmelzen derselben, welches ohne die Anwesenheit jener correspondirenden Linien eintreten würde.

Die von Herrn PANUM aufgestellten Erklärungen sind nun nach den Verwahrungen und Erläuterungen derselben, die er in seiner zweiten Arbeit² dazu gegeben hat, kaum etwas mehr, als dafs jede Klasse von Beobachtungen zu einem besonderen Vermögen der Nervenapparate erhoben wird. So schreibt er den beiden Augen oder ihren Nervenapparaten eine binoculare Energie der Farbmischung zu, vermöge deren sich binocular gesehene Farben zur Mischfarbe vereinigen können. Daneben giebt es aber auch eine andere binoculare Synergie des Alternirens, vermöge deren binocular gesehene Farben sich auch nicht vereinigen, sondern in Wettstreit gerathen können. Die letztere soll überwiegen, wenn die beiderseitig einwirkenden Erregungen sehr intensiv, oder die Erregbarkeit des Sehorganes sehr grofs ist. Disparate Bilder können vereinigt werden mittels einer dritten binocularen Synergie des Einfachsehens durch correspondirende Empfindungskreise. Die Tiefenwahrnehmung endlich kommt zu Stande mittels einer vierten specifischen Synergie der binocularen Parallaxe.

Die Contouren der Figuren werden als besonders starke Nervenreize betrachtet und die Augenstellungen im Wesentlichen als unwillkürlich eintretende Reflexbewegungen, und auch in Bezug auf die genannten Synergien betont es Herr PANUM besonders, dafs sie als physiologische, nicht als psychische Kräfte zu betrachten seien.

Ich mufs gestehen, dafs ich nicht klar verstanden habe, in welcher Weise Herr PANUM sich denkt, dafs neben der Verschmelzung disparater Punkte in correspondirenden Empfindungskreisen doch der Hauptsatz der Identitätslehre, wonach die Eindrücke identischer Stellen verschmelzen müssen, noch bestehen könne, auf welchen wirklichen oder anscheinenden Wider-

¹ BERGMANN, *Göttinger gelehrte Anzeigen*. 1859. S. 1055—1063.

² PANUM, *Reichert und du Bois-Reymond, Archiv für Anat. und Physiol.* 1861. S. 63—111.

spruch Herr VOLKMANN aufmerksam gemacht hatte. Herr PANUM erklärt, seine Sätze behaupteten, daß die Eindrücke, welche correspondirenden Empfindungskreisen angehören, verschmelzen könnten, die aber auf identischen Stellen verschmelzen müßten. Daraus würde aber doch immer folgen, daß, so oft der Eindruck a einer Netzhaut mit dem einer disparaten Stelle β verschmilzt, nothwendig auch a mit dem der identischen Stelle α der zweiten Netzhaut, folglich auch α und β , zwei Stellen desselben Bildes mit einander verschmelzen müssen, wenn nicht eines von ihnen ausgelöscht wird, was jedenfalls in vielen Fällen, wie in den oben beschriebenen Versuchen, nicht der Fall ist. In Figuren wie M und N Taf. V sind beide identisch liegende, aber nicht verschmelzende Linien durch Contouren hervor gehoben; keine von ihnen verschwindet durch Wettstreit mit der andern, sonst könnte keine stereoskopische Tiefenwahrnehmung durch ihre Vereinigung mit einer disparaten Linie des andern Bildes auch in der Beleuchtung durch den elektrischen Funken zu Stande kommen. Ebenso müssen zwischen zwei verschmelzenden disparaten Grenzlinien verschieden gefärbter Flächen immer gewisse identische Punkte existiren, für welche der Wettstreit der durch die benachbarten Contoure hervorgetriebenen Farben im Gleichgewicht ist und die also beide gesehen und dabei an verschiedene Punkte des angeschauten körperlichen Objects verlegt werden. Übrigens ist dieser Streitpunkt, so viel ich einsehe, unerheblich für die Theorie; ich muß ihn außerdem nach dem Ergebniss meiner eignen Beobachtungen zu Gunsten von WHEATSTONE'S Behauptung als erledigt betrachten. Wenn man auch die Nothwendigkeit der Verschmelzung der Eindrücke auf identischen Stellen fallen läßt, so behalten dieselben doch immer die factische Bedeutung, daß ähnliche Eindrücke beider Netzhäute desto leichter verschmelzen, je näher sie an identische Stellen treffen. Das scheint mir auch die einzig richtige Beschreibung des Identitätsverhältnisses zu sein, was man übrigens auch als seinen Grund betrachten möge, und dadurch daß Herr PANUM dieses Verhältniss durch bezeichnende Ausdrücke scharf hervorgehoben hat, hat er einen wesentlichen Fortschritt in der Lehre vom binocularen Sehen 809 bewirkt, den ich gern anerkenne; auch würde ich gewiß der Letzte sein, der gegen seine Scheu und Vorsicht in der theoretischen Verallgemeinerung der beobachteten Thatsachen Einspruch erhöbe, und würde seine theoretischen Versuche, die er selbst als Nebensache zu betrachten auffordert, hier nicht kritisirt haben, wenn ich nicht überhaupt die möglichen Erklärungsformen des vorliegenden Gebiets zu besprechen genöthigt wäre, und wenn nicht ein Theil von PANUM'S theoretischen Ansichten auch die Grundlage der unten zu besprechenden neueren Theorie von E. HERING bildete.

Der Leser wird aus der gegebenen Übersicht entnehmen, daß die Erklärungen, welche Herr PANUM giebt, wenigstens so weit sie sich auf die Verschmelzung und den Wettstreit der Bilder beziehen, in der That nur der Form nach Erklärungen sind, indem die Thatsachen in einem abstracten Begriff zusammengefaßt werden, und nur in der Verwahrung gegen die Ein-

mischung psychischer Vorgänge, welche sich aber überall auf unvollständige Beobachtung der Thatsachen stützt, beziehen sie sich wenigstens negativ auf das ursächliche Verhältniß. Übrigens werden in ihnen der Nervensubstanz Formen der Thätigkeit beigelegt, die wir wohl aus dem Gebiete der niederen Seelenthätigkeiten kennen, aber denen Ähnliches im Gebiete der Körperwelt noch niemals aufgefunden ist.

In deutlicherer und fester ausgebildeter Gestalt kehren uns die Grundzüge der Theorie von PANUM in der von E. HERING aufgestellten Theorie des binocularen Sehens entgegen. Diese Theorie ist überhaupt unter den bis jetzt aufgestellten wohl die consequenteste Form, welche die nativistische Theorie erhalten hat, und verdient deshalb eine eingehendere Besprechung. Ein bedeutender Fortschritt der HERING'schen Theorie liegt darin, daß sie von einer richtigeren Kenntniß der scheinbaren Sehrichtung der angeschauten Objecte ausgeht, wodurch wesentliche Schwierigkeiten der früheren Theorien beseitigt werden.

Herr HERING nimmt an, daß die einzelnen Netzhautpunkte im erregten Zustande aufer den Farbenempfindungen noch dreierlei verschiedene Arten von Raumgefühlen hervorrufen. Ein erstes entspricht dem Höhenwerth der betreffenden Netzhautstelle, das zweite dem Breitenwerth. Die Höhengefühle und Breitengefühle, welche zusammen das Richtungsgefühl für den Ort im gemeinschaftlichen Gesichtsfelde ergeben, sind für correspondirende Netzhautpunkte gleich. Auferdem existirt ein drittes Raumgefühl besonderer Art, ein Tiefengefühl, welches in je zwei identischen Netzhautpunkten gleiche, aber entgegengesetzte Werthe, dagegen auf symmetrisch gleich gelegenen gleiche und gleichsinnige Werthe haben soll. Das Tiefengefühl der äußeren Netzhauthälften ist positiv, das heißt entspricht größerer Tiefe, das der inneren Netzhauthälften negativ, das heißt: entspricht größerer Annäherung.

Durch diese Annahme ist zunächst das oben schon von mir bezeichnete nothwendige Erforderniß einer mit den Thatsachen vereinbaren Identitätstheorie erfüllt, die Eindrücke correspondirender Netzhautstellen sind zwar theilweise gleich, nämlich betreffs ihres Richtungsgefühls, theilweise aber verschieden, nämlich durch ihr Tiefengefühl. Bis hierher würde ich die Annahmen von HERING sogar für die von mir vertretene empiristische Theorie zwar nicht nothwendig, aber vortheilhaft finden, eine solche Annahme würde die Erklärung der Einübung des Augenmaasses in der Erziehung des Gesichtssinns wesentlich erleichtern. Nur wären dabei die „Raumgefühle“ als Localzeichen zu betrachten, deren räumliche Bedeutung erst durch Erfahrung zu lernen wäre. Gleiche Zeichen aber für das bezeichnete Gleiche zu haben, würde offenbar vortheilhaft sein.

Nur in einer Beziehung macht die Abweichung der scheinbar verticalen und identischen Meridiane eine Abweichung von den HERING'schen Annahmen nöthig für diejenigen Augen, die damit behaftet sind, nach den Versuchen, die ich selbst und Herr DASTICH angestellt haben. Die Höhen- und Breitenwerthe nämlich würden bei uns ebenfalls für identische Stellen

gleich zu nehmen sein, aber die positiven und negativen Tiefenwerthe würden nicht durch die correspondirenden scheinbar verticalen Meridiane, sondern durch die wirklich verticalen Meridiane zu scheiden sein. Wir sehen nämlich bei symmetrischer Augenstellung, wie ich schon oben bemerkt habe, eine Linie, die auf den beiden wirklich verticalen, aber nicht identischen Meridianen abgebildet ist, senkrecht zur Visirebene, dagegen eine solche, die auf den beiden scheinbar verticalen identischen Meridianen abgebildet ist, gegen den Beobachter geneigt, mit ihrem oberen Ende entfernter als mit dem untern. So viel ich sehe, hat diese Abweichung weiter keinen Einfluß auf die ferneren Consequenzen der Theorie.

Nun stoßen wir freilich auch bei HERING wieder auf das Mysterium der Identitätslehre: Auf Deckpunkte (d. h. correspondirende Punkte) fallende gleiche oder verschiedene Lichtreize lösen stets nur eine einfache Lichtempfindung aus. Sie müssen also nothwendig vereinigt werden, wie an vielen Stellen des Buches betont wird, während andererseits doch auch disparate Bilder correspondirender Empfindungskreise vereinigt werden können. Auch bei HERING scheint mir dieser Satz mehr eine Folge einer polemischen Stimmung gegen vielleicht zu eingreifende Gegner der Identitätstheorie zu sein, als ein nothwendiges Erforderniß der Theorie. Er könnte, so viel ich sehe, ohne Schaden für den Zusammenhang beseitigt werden, indem man dafür setzte, daß Bilder von ähnlichen Contouren und ähnlicher Färbung desto leichter verschmelzen, je näher sie identischen Stellen kommen.

Für dieses Einfachsehen mit disparaten Netzhautstellen nimmt nun Herr HERING nicht wie Herr PANUM einen organischen Grund an, sondern einen psychischen, indem er sich darauf stützt, daß zur Trennung zusammengesetzter Empfindungen Übung und eine gewisse Schulung der Aufmerksamkeit nothwendig sei, ein Satz, der durchaus richtig ist und eine viel größere Zahl von den anscheinenden Widersprüchen in den Erscheinungen dieses Gebietes zu erklären im Stande ist, als Herr HERING daraus erklärt. Namentlich tritt für seine Theorie hier folgende Schwierigkeit ein. Wenn a und α correspondirende Netzhautstellen sind, b eine dem a benachbarte in demselben Auge wie a , und gleiche Bilder auf b und α entworfen werden, so verschmelzen sie nach Herrn HERING's Meinung, weil sie in Qualität gleich, im Richtungsgefühl sehr ähnlich und nur in Tiefengefühlen erheblich verschieden sind, und weil wir uns nicht die Zeit nehmen, diese Bilder getrennt zu betrachten, sondern, wenn wir auf sie aufmerksam werden, zur Fixation beider forteilen — was seiner Meinung zufolge freilich durch eine Art von Reflexbewegung geschehen soll —, und sie dann einfach sehen. Nun frage ich, warum unterscheiden wir denn aber so sehr viel eher und leichter, wenn zwei gleichartige Bilder auf die Netzhautstellen a und b fallen. Diese sind dann nämlich nicht blos qualitativ gleich und haben in den Richtungsgefühlen denselben kleinen Unterschied, wie b und α , sondern sie haben auch einen ebenso kleinen Unterschied im Tiefengegefühl, während b und α

in diesem einen sehr großen Unterschied darbieten. Aus Herrn HERING'S Darstellung würde also folgen, daß die Empfindungen *a* und *b* noch sehr viel leichter verschmelzen müßten, als die von α und β , was aber der Erfahrung geradezu widerspricht. Herr HERING kann nun darauf antworten, daß wenn wir *a* oder *b* zu fixiren suchen, nur eins fixirt werden kann, und daß wir daher gelernt haben *a* und *b* zu unterscheiden, nicht aber α und β . Damit würde er aber ganz auf dem Standpunkte der empiristischen Theorie angekommen sein, wonach wir die Empfindungen der Localzeichen zu unterscheiden und zu deuten lernen müssen.

Und gerade diese Gelegenheit, wo Herr HERING selbst gezwungen ist, in der psychischen Theorie Lösung der Schwierigkeiten zu suchen, die seine Ansicht hervorruft, benutzt er, um gegen VOLKMANN'S und Anderer psychologische Erklärungen zu polemisiren. VOLKMANN'S Fehler, wenn man es so nennen will, ist dabei aber im Wesentlichen nur der, daß er die psychischen Prozesse, auf die es hier ankommt, mit denjenigen Benennungen belegt hat, die wir ihnen geben, wenn sie in das Selbstbewußtsein erhoben werden. Zum Theil haben wir gar keine anderen bezeichnenden Benennungen als diese, weil wir Vorgänge nur benennen können, sofern wir von ihnen wissen. Wenn also diejenigen Vorgänge dieser Art, von denen wir nur aus ihren Resultaten wissen, als unbewußte Seelenvorgänge bezeichnet werden, so hat dies seinen guten Sinn und ist eben die einzige Bezeichnung, die wir dafür haben, wenn wir nicht bei jeder Gelegenheit weitläufige Umschreibungen machen wollen.

Bei der binocularen Verschmelzung zweier Eindrücke erhält nun nach HERING die Gesamtempfindung den mittleren Werth des Richtungsgefühls sowohl als des Tiefengefühls. Da die Tiefengefühle identischer Stellen gleich groß sind, aber von entgegengesetztem Zeichen, so wird der Mittelwerth des Tiefengefühls bei Verschmelzung identischer Eindrücke gleich Null. Bei gleichseitigen Doppelbildern fällt, wie leicht zu sehen ist, der Mittelwerth des Tiefengefühls positiv aus, das Object erscheint entfernter, bei ungleichseitigen Doppelbildern ist der Mittelwerth negativ, das Object erscheint näher, als die identisch abgebildeten Objecte.

812 Wenn jeder Netzhautindruck sich nothwendig mit dem der correspondirenden Stelle der andern Netzhaut stets in gleicher Stärke vereinigen müßte, so würde der mittlere Tiefenwerth dieser Vereinigung immer gleich Null sein. Nur dadurch, daß im Wettstreite der Eindruck desjenigen Sehfeldes, welches die Contour trägt, die Empfindung des andern unterdrückt, wird der Tiefenwerth der Contour frei und kann mit seinem eigenthümlichen Werthe in die Vereinigung mit der entsprechenden Contour im andern Sehfelde eintreten. Auch dieser Erklärung widersprechen die oben gegebenen Modificationen des WHEATSTONE'Schen Versuches, bei denen unähnliche Contouren, die sich nicht vereinigen, auf Deckstellen liegen und selbst beim Lichte des elektrischen Funkens sich jede von beiden im stereoskopischen Bilde mit ihrem Tiefenwerthe geltend macht, zum Zeichen, daß keine von ihnen im Wettstreite untergeht.

Auf diese Annahme baut nun Herr HERING seine Raumconstruction. Er nimmt an, alle Bildpunkte, die den Tiefenwerth Null haben, erscheinen durch einen unmittelbaren Act der Empfindung in einer Ebene, der Kernfläche des Sehraums. Denken wir uns in dieser den Punkt, welcher den beiden Netzhautcentren entspricht, als Anfangspunkt eines rechtwinkligen Coordinatensystems, die den Tiefenwerthen entsprechenden Coordinaten senkrecht zur Kernfläche, so würden die drei Coordinaten jedes gesehenen Punktes proportional sein den Höhenwerthen, Breitenwerthen, Tiefenwerthen des zu dem binocularen Eindrücke gehörigen Raumgefühls, und es wäre nach HERING in dieser Weise eine Vertheilung der gesehenen Punkte im Sehraum gegeben, die wenigstens in der Anordnungsweise der Punkte der wirklichen Anordnung derselben entspräche, wenn auch die Verhältnisse der einzelnen linearen Distanzen nun noch vielfach nach der Erfahrung zu corrigiren wären. Da auch die Körpertheile des Beobachters mit in diesem so ausgefüllten Sehraume erscheinen, so wird dadurch auch die räumliche Beziehung der gesehenen Objecte zum Beobachter zugleich mit zur Anschauung gebracht.

Das sind die wesentlichen Grundzüge der Theorie von HERING. Die älteren nativistischen Theorien des Sehens hatten nur die Vertheilung der gesehenen Punkte im Gesichtsfelde für angeboren, die Wahrnehmung der Tiefendimensionen dagegen für einen Act des Urtheils gehalten. PANUM hatte zuerst die Hypothese aufgestellt, aber nicht in bestimmterer Form ausgeführt, daß die binoculare Parallaxe eine unmittelbare Empfindung der Tiefenverhältnisse geben könnte. Dies hat Herr HERING in der beschriebenen Weise bestimmter auszuführen gesucht und dadurch der nativistischen Theorie ein noch weiteres Feld eingeräumt, als ihr bisher gegeben war. Das von ihm aufgestellte System verräth einen klar und consequent denkenden Kopf, es berücksichtigt die bisher bekannt gewesenen Thatsachen vollständig und auch einige wichtige neue, die Herr HERING selbst hinzugefügt hat, und kann deshalb, wie ich glaube, als ein gutes Specimen dieser Klasse von Theorien angesehen werden, weshalb ich mir erlaube, meine Kritik speciell gegen die Theorie von Herrn HERING zu richten.

Der erste Einwand, den ich zu machen hätte und der mir für mein Denken allerdings als ganz unübersteiglich erscheint, ist der, daß ich mir nicht vorstellen kann, wie eine einzelne Nervenerregung ohne vorausgegangene Erfahrung eine fertige Raumvorstellung zu Stande bringen kann. Ich erkenne aber an, daß dieser Einwand vielleicht von zu metaphysischer Natur ist, um auf naturwissenschaftlichem Boden gehört zu werden, und merke ihn deshalb hier nur an für diejenigen Leser, die ihn mit mir theilen. Ich wende mich deshalb sogleich zu den Gegengründen, die dem Bereiche der erfahrungsmäßigen Thatsachen entnommen sind.

Daß die Annahmen der PANUM-HERING'schen Theorie von der Ver- 813
schmelzung der beiden Gesichtsfelder den Thatsachen widersprechen, habe ich schon oben erwähnt. Der Annahme, daß die beiderseitigen Eindrücke in eine Empfindung verschmelzen müssen, wobei nur abwechselnd in lang-

samer Schwankung bald der eine, bald der andere vorherrschen könne, wird widerlegt durch die Möglichkeit, stereoskopischen Glanz wahrzunehmen bei momentaner Beleuchtung. Die Annahme, daß in den Fällen, wo disparate Contouren verschmelzen, die identisch zu ihnen gehörigen Bilder der anderen Netzhaut unterdrückt seien, wird widerlegt durch das Gelingen des WHEATSTONE'schen Versuchs, wenn er richtig ausgeführt wird, und namentlich durch ein Gelingen bei momentaner Beleuchtung, wobei die Augenbewegungen keinen Einfluß haben können.

Eine weitere Fundamentalhypothese der HERING'schen Theorie ist es, daß die Punkte, welche auf identischen Netzhautstellen sich abbilden (oder allgemeiner, die den Tiefenwerth Null haben), immer in einer Ebene zu liegen scheinen sollen, daß das Vortreten oder Zurücktreten der binocular gesehenen Objectpunkte vor oder hinter diese Ebene (Kernfläche des Sehraums) nur davon abhängen sollte, ob sie positive oder negative stereoskopische Parallaxe haben. Ich habe oben auf Seite 803 ff. eine Reihe von Versuchen beschrieben, aus denen hervorgeht, daß auch wenn alle anderweitigen Anhaltspunkte der Tiefenanschauung fehlen, einfache Liniensysteme, welche genau dieselbe binoculare Parallaxe darbieten, stereoskopisch combinirt, bald als gewölbte, bald als ebene Fläche erscheinen können, je nachdem durch die Querlinien mehr Ähnlichkeit mit den binocularen Bildern eines nahen und mit convergenten Blicklinien gesehenen Objects oder denen eines mit parallelen Gesichtslinien gesehenen fernen Objects entsteht.

Ich habe ferner gezeigt, daß wenn ein System von verticalen Fäden, die in der Cylinderfläche des Längshoropters liegen, Herrn HERING in einer Ebene zu liegen scheint, was, wie er andeutet, selbst für seine Augen nicht streng richtig ist, dies eine individuelle Eigenthümlichkeit seiner Augen ist, die bei keinem der von mir untersuchten Individuen, auch bei mir selbst nicht vorkam, und daß bei den meisten Beobachtern der Irrthum in der Beurtheilung der Convergenz der Augen, der dieser Erscheinung zu Grunde zu liegen scheint, viel kleiner ist, als daß der von Herrn HERING behauptete Erfolg zu Stande kommen könnte.

Eine Hauptschwierigkeit oder, wie mir scheint, Unmöglichkeit der HERING'schen Theorie sind die Tiefengefühle. So lange Eindrücke der einen Netzhaut mit correspondirenden oder disparaten der andern Netzhaut sich vereinigen, wo es sich nur um die Differenz der Tiefengefühle beider Stellen handelt, tritt, so viel ich sehe, keine wesentliche Schwierigkeit ein, außer den eben angeführten. Wenn aber das Bild einer Netzhaut, ohne zu verschmelzen, für sich stehen bleibt und im Wettstreite mit dem der andern Netzhaut dominirt, so nimmt Herr HERING an, und muß auch nothwendig annehmen, daß das Tiefengefühl des im Wettstreite siegenden Eindrucks ebenfalls unverschmolzen mit dem der correspondirenden Deckstelle der andern Netzhaut zur Herrschaft kommt.

Herr HERING¹ glaubt auch einige Versuche anführen zu können, in

¹ HERING, *Beiträge zur Physiologie*. 5. Heft. S. 338—342.

denen solche monoculare Bilder mit dem ihnen allein zugehörigen Tiefen- 814
eindruck zur Erscheinung kämen.

a. Wenn man einen Punkt in der Medianebene fixirt und ein zweiter liegt vor oder hinter dem Fixationspunkte, so erscheint dieser in Doppelbildern, die ebenfalls vor oder hinter dem Fixationspunkte nahe dem wahren Orte ihres Objects erscheinen. Diese Beobachtung widerspricht der HERING'schen Theorie nicht, beweist aber auch nichts für sie, da wir eben hinreichende Übung haben, den Ort eines in nicht zu entfernten, aber erkennbaren Doppelbildern gesehene Objects nahehin richtig zu beurtheilen. Dafs hier die Erfahrung und nicht die Tiefengefühle entscheiden, geht aus den weiteren Versuchen hervor, wo beide in Widerspruch kommen und wo die Erfahrung, wie mir scheint, immer oder wenigstens, wie Herr HERING zugiebt, in der Regel siegt.

b. Zwei Kügelchen werden neben einander an Fäden aufgehängt, die Sehlinien hinter ihnen gekreuzt, so dafs drei Kugeln erscheinen, eine mittlere binocular gesehene, zwei seitliche monocular, die rechte vom linken, die linke vom rechten Auge gesehen. Nach HERING sollen die seitlichen Kügelchen näher als das mittlere erscheinen. Ich habe den Versuch wiederholt und finde seinen Erfolg abhängig von der Kopfhaltung. Ist mein Kopf bei der Fixation der Kügelchen hinten über gebeugt, die Visirebene also unter ihre Primärlage geneigt, so erscheint mir der binocular gesehene mittlere Faden mit dem unteren Ende, welches das Kügelchen trägt, genähert, wie oben S. 808 und 809 schon erörtert ist, und dann auch das mittlere Kügelchen näher als die seitlichen. Ist der Kopf vorn über gebeugt, so tritt der entgegengesetzte Anschein ein, der dann freilich dem von HERING's Theorie geforderten dem Sinne nach entspricht, aber offenbar einen ganz anderen Grund hat. Biegt man den Kopf bald nach vorn, bald nach hinten, so wechselt auch das Kügelchen seine Stellung.

c. Wenn man einen Stecknadelknopf fixirt, und daneben ist ein senkrechter Draht angebracht etwas nach links und etwas näher als die Stecknadel, so erscheint dieser in Doppelbildern, deren rechtes dem linken Auge angehört und einen negativen Tiefenwerth haben sollte, das linke gehört dem rechten Auge an und sollte einen positiven Tiefenwerth haben. Das rechte müfste also viel näher, das linke viel ferner als die Stecknadel erscheinen. Herr HERING giebt zu, dafs eine solche Tiefenanschauung nur aufserordentlich schwer und flüchtig gesehen werde, weil, wie er meint, die kleinste Schwankung der Convergenz das Urtheil über den Ort des Objectes berichtige. Um ihm aber nicht Unrecht zu thun, will ich lieber den Erfolg dieses Versuches mit seinen eigenen Worten beschreiben: „Ich sehe zunächst und überhaupt immer dann, wenn meine Augen sich irgendwie, wenn auch nur sehr wenig bewegen, die beiden Trugbilder des näheren Drahtes zwar gesondert, aber beide näher als die fixirte einfach erscheinende Stecknadel. Fixire ich aber anhaltend und fest und concentrirte meine ganze Aufmerksamkeit möglichst auf die fixirte Stecknadel, so tritt das eine, dem linken Auge

angehörige Trugbild plötzlich hinter die Stecknadel und erscheint mit solcher Energie jenseits derselben, daß ich diesen Eindruck durchaus dem zwingenden Eindrucke vergleichen muß, mit welchem Stereoskopbilder sich plötzlich in die Tiefe ausbreiten. Die Erscheinung tritt gerade dann am sichersten ein, wenn ich am wenigsten daran denke. Die geringste Schwankung des Blickes aber, oder nur der Gedanke an das zweite näher erscheinende Trugbild versetzt das andere sogleich wieder vor die Kernfläche; denn es tritt dann die Beziehung beider Bilder auf ein und dasselbe Object ein und stört den rein sinnlichen Eindruck. Aber auch ganz von selbst schwindet die Erscheinung, sobald das Trugbild infolge der Ruhe des Auges in eine ungünstige Phase des Wettstreits eintritt, wie dies oben erörtert wurde. Daher denn mancherlei sich vereinigt, um den Versuch zu stören. Überhaupt kann ich ihn nur denjenigen empfehlen, die große Übung im indirecten Sehen haben und wirklich fest fixiren können, nicht bloß es zu können glauben. Man lernt das feinste Doppelsehen nicht in einem Jahre, auch nicht in zweien.“

Einige Seiten vorher bemerkt Herr HERING hierher gehörig noch, indem er die Störungen der Empfindung bei diesen Versuchen beschreibt: „Hierzu kommt nun noch, daß bei irgend ausgedehnten Trugbildern der Wettstreit nicht immer in allen Theilen des Trugbildes gleiche Phasen zeigt, daß vielmehr das Trugbild stückweise Sieger und Besiegter im Wettstreite ist, wodurch eine sichere und feste Localisation ganz unmöglich wird. Drängen sich auf diese Weise Stücke des auf der betreffenden Deckstelle der andern Netzhaut liegenden Bildes mit ihren entgegengesetzten Tiefenwerthen in das Trugbild derart hinein, daß sie gleichsam Bestandtheile desselben werden, so kann die Localisation sogar entgegengesetzt der *a priori* zu erwartenden ausfallen.“

Diesem letzteren Theile der Beschreibung entspricht nun vollkommen das, was ich selbst bei einer möglichst sorgfältigen und gewissenhaften Anstellung des Versuchs gesehen habe. Ich habe so fest und so lange die Stecknadel fixirt, daß mir schließlic die negativen Nachbilder alles auslöschten. Ich habe gesehen, daß zu der Zeit, wo nur noch einzelne Theile der Doppelbilder des Drahtes im Wettstreit mit dem correspondirenden Grunde und mit den Nachbildern zeitweilig nebelhaft auftauchen, sie bald fern, bald nah erscheinen, das eine ebenso oft und ebenso energisch, wie das andere; aber ich habe mich nicht überzeugen können, daß dies überwiegend in dem Sinne der HERING'schen Theorie geschieht, und würde es nie unternommen haben, aus einer an solchen halb erlöschenden Bildern gemachten Beobachtung das Fundament für eine neue Theorie des Sehens zu machen. Indessen gebe ich zu, daß ich ungeschickt gewesen sein mag; nur wird Herr HERING entschuldigen müssen, wenn ich durch diesen ihm selber so „zwingenden Beweis für die Richtigkeit der Theorie“ mich nicht für überzeugt erklären kann.

d. PANUM's Versuche über die stereoskopische Vereinigung zweier senk-

rechter Linien im einen Felde mit einer im andern finden leicht ihre Erklärung, wie oben Seite 882 schon bemerkt ist. Ein solches Bild ist der richtige optische Ausdruck eines Linienpaares im Raume, von denen eine für das eine Auge die andere deckt.

e. Wenn man nur ein Auge öffnet und mit dem andern allein irgend eine zur Antlitzfläche senkrechte Ebene betrachtet, so müßte die schläfenwärts gekehrte Seite derselben positive Tiefenwerthe haben, die nasenwärts gekehrte negative, die Ebene sollte deshalb stark gegen die Gesichtslinie 816 geneigt erscheinen. Dafs sie es nicht thut, erklärt Herr HERING dadurch, dafs wir der Erfahrung zulieb, die uns lehrt, wie die gesehene Ebene gegen unseren Körper liegt, die Kernfläche des Sehraums in unserer Anschauung eine Achtelswendung machen lassen, wodurch die richtige Lage der gesehenen Fläche wieder hergestellt werde.

Wir können den Versuch aber so modificiren, dafs diese Ausflucht abgeschnitten ist. Man nehme vor die Mitte des Gesichts einen schwarzen Papierstreifen, dessen Breite der Distanz der Augen von einander gleichkommt. Dann sieht das rechte Auge nur die rechte Hälfte der vorliegenden Objecte, das linke nur die linke Hälfte. Das ganze Gesichtsfeld bis auf einen kleinen im Zerstreuungskreise der beiden Ränder des Papierstreifens liegenden mittleren Streifen wird monocular gesehen. Ein nennenswerther Wettstreit zwischen dem Schwarz des Papiers und den hellen Bildern des Zimmers tritt bei hin und wieder wechselnder Richtung des Blicks nicht ein; keinerlei Augenbewegungen sind im Stande, das Urtheil über die wahre Entfernung der gesehenen Objecte zu unterstützen. Eine Achtelswendung der Kernfläche würde in diesem Falle die Schwierigkeit ebenfalls nicht heben. Alle Bedingungen also bei diesem Versuche scheinen mir dazu angethan, die von Herrn HERING supponirten Tiefengefühle rein zur Erscheinung kommen zu lassen, und man sollte erwarten, nun die beiden Theile der Wand an der Stelle, wo die Grenze der beiden Sehfelder liegt, sich unter einem ziemlich kleinen spitzen Winkel (der HERING'schen Theorie zufolge müßte dieser Winkel dem Convergenczwinkel der Augen gleich sein) zusammenstoßen zu sehen, wie eine Messerschneide, die gegen den Beobachter gekehrt ist. Davon ist aber keine Spur zu sehen, die Wand erscheint ganz flach, gerade so, wie sie mit beiden Augen gesehen erscheint.

Die andern Täuschungen aber, die von der Abweichung der scheinbar verticalen Meridiane, der etwa vorhandenen Raddrehungsdifferenz beider Augen und so weiter abhängen, sind bei diesem Versuche alle deutlich zu sehen. Soll nun die Erfahrung, dafs die Wand eben ist, die eine täuschende Empfindung beseitigen? Warum beseitigt dann die andere Erfahrung, dafs die horizontalen Linien der Wand alle gerade, ihre verticalen alle parallel sind, welche ich noch bis zu dem Augenblick, wo ich den Papierschirm vorschiebe, machen und fortsetzen kann, nicht auch die von der Raddrehung und der Abweichung der Meridiane abhängigen Täuschungen?

Auch selbst in Fällen, wo die Contouren der gesehenen Bilder vollkommen

denen eines objectiven Gegenstandes entsprechen, und also die Tiefengefühle mit den mittels der Augenbewegungen zu machenden Beobachtungen sich in vollkommener Übereinstimmung befinden, wie bei den pseudoskopischen Versuchen, kommen Tiefenwahrnehmungen nicht zu Stande, wenn die Schlagschatten widersprechen; und der Zusammenhang der Körperform mit dem Schlagschatten ist doch gewiß ein Erfahrungsmoment. Und selbst, wenn die Schlagschatten nicht widersprechen, sondern nur die Erinnerung an die vorher gesehene wahre Form des pseudoskopisch betrachteten Körpers, sind viele Leute, die auf die binoculare Parallaxe vielleicht wenig zu
 817 achten gewöhnt sind, gar nicht, manche erst nach längerer Betrachtung bei wechselnder Blickrichtung im Stande, den pseudoskopischen Eindruck zu erhalten.

Aus allen diesen Thatsachen folgt, daß die HERING'schen Tiefengefühle nur wirken, wenn auch die durch die Erfahrung gegebenen Momente eine Tiefenwahrnehmung fordern, daß sie spurlos verschwinden, sobald die erfahrungsmäßige Auslegung der Gesichtserrscheinungen, oder auch nur die Erinnerung an die Form des individuellen Objects widerspricht. Muß man daraus nicht schließeln, daß jene Tiefengefühle, wenn sie überhaupt existiren, mindestens so schwach und undeutlich sind, daß sie gar keinen nennenswerthen Einfluß den aus der Erfahrung genommenen Momenten gegenüber ausüben können, und daß daher die Tiefenanschauung ohne sie ganz eben so gut zu Stande kommen muß als mit ihnen, beziehlich wider sie, wie es nach HERING's Annahmen geschehen soll?

Schließlich führt uns dies auf eine letzte wesentliche Schwierigkeit, der noch keine nativistische Theorie der Raumanschauung entgangen ist, wenn sie sich nicht ganz auf allgemeine Andeutungen beschränkte. Es muß nämlich in diesen Theorien immer vorausgesetzt werden, daß wirklich vorhandene Empfindungen durch eine Erfahrung, die sie als unbegründet nachweist, aufgehoben werden können. Dafür ist aber nicht ein einziges wohl constatirtes Beispiel da. Bei allen Sinnestäuschungen, welche durch anomal erregte Empfindungen hervorgerufen werden, wird die täuschende Empfindung nie beseitigt durch die widersprechende bessere Erkenntniß des Objects und durch die Einsicht in die Ursache der Täuschung. Die Druckbilder, die feurigen Garben am Sehnerveneintritt, die Nachbilder u. s. w. bleiben an ihrem scheinbaren Orte im Gesichtsfelde bestehen, ebenso gut wie das von einem Spiegel entworfene Bild scheinbar hinter dem Spiegel fortfährt gesehen zu werden, obgleich wir von allen diesen Erscheinungen sehr wohl wissen, daß ihnen keine reelle Existenz zukommt. Es kann allerdings die Aufmerksamkeit abgelenkt sein und bleiben von Empfindungen, die zu den Objecten der Außenwelt in gar keiner Beziehung stehen, wie zum Beispiel von den Empfindungen der schwächeren Nachbilder, der entoptischen Objecte und andern. Es können ferner mäßig große Irrthümer in der Schätzung ihrer Intensität durch Contrast eintreten, oder wenn sie

als gemeinschaftliche Wirkung zweier Objecte angeschaut werden, können sie falsch an die beiden Objecte vertheilt werden, wie das bei den Contrasterscheinungen vorkommt. Einer der Haupteinwürfe gegen die früheren Formen der empiristischen Theorie ist es ja immer gewesen, so lange man bewufste Schlüsse und Inductionsschlüsse noch nicht genügend unterschied, daß die Sinnestäuschungen durch die Einsicht in ihren Mechanismus und durch die entgegenstehende Erfahrung nicht aufgehoben werden. Was sollte aus unseren Sinneswahrnehmungen werden, wenn wir die Fähigkeit hätten, einen Theil derselben, der uns gerade nicht in den Zusammenhang unserer Erfahrungen paßte, nicht nur nicht zu beachten, sondern in sein Gegentheil zu verkehren?

Denken wir zum Beispiel an den Fall zweier seitlich von der Medianebene liegenden Doppelbilder ein und desselben Objects. Das eine löst nach HERING'S Theorie eine positive Tiefenempfindung aus, das andere eine negative, und zwar nicht etwa eine von geringer Größe, sondern wie es ⁸⁷⁸ seine Theorie der stereoskopischen Phänomene voraussetzt, von sehr beträchtlicher und sehr deutlich erkennbarer Größe. Aber weil wir wissen, daß die Doppelbilder zu einander gehören und Bilder eines Objects in einer uns mehr oder weniger gut bekannten Entfernung sind, sollen wir den Unterschied ihrer Tiefenempfindungen gewöhnlich nicht erkennen, selbst wenn wir darauf achten, ob das eine oder das andere etwa uns näher oder ferner erscheine. Nun erzeuge man einmal einen schwachen Farbenunterschied beider Bilder, indem man ein Auge vorher gegen eine Farbe ermüdet oder es von der Seite her beleuchtet, so haben wir einen wirklichen Unterschied der Empfindung beider Doppelbilder. Aber dieser Unterschied tritt hervor, auch wenn er zu den allerschwächsten gehört, und ohne Hilfe des binocularen Contrastes vielleicht gar nicht wahrnehmbar ist, trotzdem wir wohl wissen, daß die beiden Bilder Bilder desselben Objectes sind und also gleiche Farbe haben müssen, und trotzdem die Färbung keine objective, sondern eine subjective ist, und wir dies ebenfalls wissen.

Dann betrachte man das ganze System der Localisation, wie sie nach HERING durch unmittelbare Raumempfindung ursprünglich gegeben ist. Nach allen kleineren Verbesserungen, die man etwa noch daran anbringen könnte, um es der Wirklichkeit genauer anzupassen, würde es immer nur so viel leisten können, daß es eine richtige Localisation der Objecte für eine einzige Stellung der Blicklinien gäbe. In allen unendlich vielen anderen Fällen würde es mehr oder weniger falsch und durch Erfahrung zu verbessern sein. Die hypothetischen Annahmen von HERING machen also — vielleicht — die Erklärung der Gesichtswahrnehmungen in einem einzelnen Falle leichter, um sie in allen andern desto schwieriger zu machen; und jedenfalls muß man schließen: Wenn die der Erfahrung entnommenen Momente im Stande sind, die richtige Erkenntnis der räumlichen Verhältnisse selbst entgegenstehenden directen Raumempfindungen gegenüber herzustellen, so müssen sie noch viel eher und leichter im Stande sein, die-

selben richtig erkennen zu machen, wenn keine solche Hindernisse zu überwältigen sind.¹

Sobald wir dagegen alle Anschauung der Raumverhältnisse auf Erfahrung zurückführen, wie dies in der empiristischen Theorie geschieht, so kämpft in den Sinnestäuschungen niemals Empfindung gegen Erfahrung, sondern nur die eine Induction, welche unter gewissen beschränkten Bedingungen gewonnen ist, gegen die andere, die unter andern Bedingungen gewonnen ist. Wir haben es dann mit einem Kampfe gleichartiger Mächte zu thun und verstehen, daß bald die eine Seite, bald die andere je nach den veränderten Umständen, oder auch beide wechselnd unter gleich bleibenden Umständen unterliegen können.

819 Ich erkenne aber durchaus an, daß die hier discutirten Fragen noch nicht vollkommen spruchreif sind. Ich habe meinen eigenen Standpunkt theils wegen der Einfachheit der Erklärungen, die sich aus ihm ergeben, so gewählt, theils aber auch besonders aus methodologischen Rücksichten, indem ich es nämlich stets für rathsam halte, die Erklärungen der Naturprocesse auf die möglichst geringste Zahl und auf möglichst bestimmt gefasste Hypothesen zu bauen. Andererseits aber muß ich doch auch sagen, daß, je mehr ich im Fortgang dieser Untersuchungen, die mich einen guten Theil meines Lebens hindurch beschäftigt haben, lernte, meine Augenbewegungen und meine Aufmerksamkeit mit freiem Willen zu beherrschen, es mir desto unzulässiger erschien, die wesentlichen Phänomene dieses Gebiets aus einem vorher schon gegebenen Nervenmechanismus erklären zu wollen.

Was die Unterschiede meiner hier gegebenen Darstellung, deren Wesentliches ich schon in einer populären Vorlesung im Jahre 1855 veröffentlicht habe, von anderen neueren Arbeiten betrifft, die auf der Grundlage einer empiristischen Theorie des Sehens fußen, so habe ich für die Abmessung der räumlichen Verhältnisse des Sehfeldes sowohl, als der Entfernung der gesehenen Objecte weniger Nachdruck auf die Muskelgefühle gelegt, als WUNDT, weil ich dieselben aus den oben angeführten Gründen glaube für ziemlich ungenau und veränderlich halten zu müssen. Ich habe vielmehr die hauptsächlichsten Abmessungen des Sehfeldes aus der Deckung verschiedener Bilder mit denselben Netzhauttheilen hergeleitet. WUNDT hat namentlich die hierher gehörigen psychischen Phänomene einer ausführlichen und sehr dankenswerthen Bearbeitung unterworfen. Einzelne Beobachtungen, in denen ich von ihm abweiche, sind oben notirt.

A. NAGEL erklärt die Entstehung der binocularen Doppelbilder aus der Annahme, daß beide Augen ihre Netzhautbilder auf zwei verschiedene Kugelflächen nach außen projiciren. Der Mittelpunkt dieser Kugelflächen wird im Kreuzungspunkt der Virillinien des entsprechenden Auges angenommen, und beide Kugelflächen sollen sich im Fixationspunkte schneiden. Dabei muß also eigentlich jeder Punkt, der nicht in der

¹ Ich wünsche, daß man diese Kritik, die ich im Interesse der Sache gegen Herrn E. HERING'S Ansichten zu richten gezwungen bin, nicht als einen Ausdruck persönlicher Gereiztheit wegen der Angriffe ansehen möge, die er gegen meine Arbeiten gerichtet hat. Ich glaube, daß der Standpunkt einer nativistischen Theorie des Sehens, auf den sich Herr HERING gestellt hat, einen consequent denkenden Kopf ziemlich nothwendig zu der Art von Hypothesen führen mußte, welche seiner Theorie zu Grunde liegen; und ich habe die Angriffe speciell gegen seine Ansichten gerichtet, weil sie mir die klarste und consequenteste Durchführung der nativistischen Theorie zu enthalten schienen, die zur Zeit noch möglich ist. Die Einwürfe, welche Herr HERING gegen meine Arbeiten gemacht hat, habe ich im Laufe dieser letzten Abtheilung zu beantworten gesucht, so weit sie sachliches Interesse haben. Die, welche nur persönliches Interesse haben, habe ich vorgezogen unerwähnt zu lassen, außer, wo ich anerkennen mußte, daß Herr HERING Recht gehabt hat.

Schnittlinie beider Kugeln liegt, in Doppelbildern erscheinen. Diese Projectionen denkt sich NAGEL nun von dem Halbirungspunkt der Verbindungslinie beider Augennittelpunkte aus angesehen, und je nachdem sich dabei die Doppelbilder decken, oder gekreuzt oder gleichseitig neben einander liegend erscheinen, sollen sie es auch im Gesichtsfelde thun.

NAGEL's Theorie kommt zwar der Wahrheit schon ziemlich nahe; aber einmal ist sie etwas künstlich, da sie eine doppelte Projection voraussetzt, zweitens fehlt in Wirklichkeit die Anschauung einer verschiedenen Entfernung der beiden Doppelbilder, welche NAGEL's Theorie in den meisten Fällen fordert; endlich würde ihr zufolge die Lage der einfach gesehenen Bilder nicht immer genau mit der Wirklichkeit stimmen. Übrigens ist dies wohl der einzige wesentliche Punkt, in welchem meine oben gegebene Theorie von der NAGEL's abweicht.

Die richtige Theorie der Doppelbilder und ihrer Lage wurde dagegen von A. CLASSEN gegeben, wenn auch dabei mit Unrecht die factische Richtigkeit der von HERING angegebenen Phänomene, welche sich auf das scheinbare Centrum der Richtungslinien mitten zwischen beiden Augen beziehen, geleugnet ist. Ich selbst bin zwar, ebenso wenig wie Herr CLASSEN, geneigt, diese Erscheinung zur Grundlage aller unserer Localisationen zu machen, und halte sie nur für eine nebenher gehende Sinnestäuschung, die bei mir selbst auch für das rechte und linke Auge in verschiedenem Grade stattfindet und durch geschärfte Aufmerksamkeit überwunden werden kann; aber es ist eine Täuschung, die wirklich besteht.

Eine wesentlichere Abweichung zwischen der von mir gegebenen Darstellung der Theorie und CLASSEN's ist, daß er den Ortssinn der Netzhaut und die Projection in das Sehfeld als ursprünglich gegeben und nicht erworben betrachtet. Wenn aber die Lage der einzelnen Netzhauptpunkte zu einander durch eine angeborene Empfindung gegeben ist, dann ist auch die Identität correspondirender Punkte angeboren, da deren gleiche Lage gegen den Blickpunkt dann ebenfalls ursprünglich in der Empfindung gegeben sein muß. Es hat diese Abweichung indessen auf die Darstellung derjenigen Capitel des Sehens, die CLASSEN ausführlich behandelt, namentlich die Lehre vom Muskelsinn und vom Binocularsehen, keinen Einfluss, und es finden sich bei ihm eine große Menge interessanter Erläuterungen aus der pathologischen Beobachtung für die vorgetragene physiologischen Lehren. 820

Die der empiristischen Theorie sich anschließenden Ansichten von H. MEYER, DONDERS, VOLKMANN, A. FICK, einzelne Theile der Theorie betreffend, sind jede an ihrer Stelle erwähnt worden.

