

giebt. Dieselben Krystalle werden beim Sättigen der wässerigen Säure mit Atropin durch langsames Verdampfen erhalten.

Schwefelsaures Atropin. Leicht krystallisirbar. 20 Gran Atropin erforderten nach Brandes 2,82 Gr. wasserfreie Schwefelsäure zur Sättigung. Hieraus berechnet sich das Atomgewicht des Atropins zu ohngefähr 3553. Nach Geigers Analyse des schwefelsauren Atropins ist das Atomgewicht 3633.

Weinsaures Atropin. Durchsichtige gummiähnliche Masse, an der Luft etwas feucht werdend.

Krokonsaures Atropin. Gelbe nicht krystallinische Masse.

Rhodizinsaures Atropin. Hyacinthrotthe durchscheinende Masse.

Attalo s. Anatta.

Attraction, s. Verwandtschaft.

Aufbrausen (*Effervesce*), das Entweichen gasförmiger Substanzen aus Flüssigkeiten unter Geräusch und Aufschäumen, namentlich das rasche Entweichen, ohne Anwendung äußerer Wärme, z. B. der Kohlensäure bei Zersetzung kohlensaurer Salze, des Wasserstoffgases beim Auflösen von Zink und Eisen in Salzsäure, des Salpetersgases bei Auflösung von Kupfer in Salpetersäure u. s. w.

Aufgießen oder Infundiren heißt, einem Körper durch Uebergießen mit einer Flüssigkeit Theile entziehen, welche in dieser Flüssigkeit löslich sind. Nach der Natur der letzteren unterscheidet man einen wässerigen, alkoholischen etc. Aufguss, und nach der angewandten Temperatur einen kalten, warmen und heißen Aufguss. Im engeren Sinne nennt man in der Pharmacie jedoch nur das Produkt der Einwirkung von kaltem oder siedendem Wasser auf Pflanzenstoffe einen Aufguss oder ein Infusum. Die zu dieser Operation dienlichen Gefäße sind die sogenannten Infundirbüchsen, von Zinn oder Porzellan, welche mit wohlschließenden Deckeln versehen sind, und häufig nach geschehener Infusion, noch eine Zeitlang im Wasserdampfbade erwärmt werden. Im Allgemeinen zieht man einen Aufguss einer Abkochung vor, sobald der zu extrahirende Stoff flüchtige Bestandtheile enthält.

Auflösen, Lösen (*Dissolvere*), Auflösung, Lösung (*Dissolutio*, *Solutio*) heißt der Vorgang, bei welchem ein starrer Körper, zuweilen auch ein flüssiger, sich mit einem anderen, flüssigen Körper zu einem homogenen und zwar flüssigen Ganzen verbindet. So sagt man, Kochsalz löse sich in Wasser, Zink in Schwefelsäure, ätherisches Oel in Alkohol. Denjenigen Körper, der den andern in sich aufnimmt, und den man, obwohl nicht mit Recht, als den thätigen bei diesem Vorgange anzusehen pflegt, nennt man das Auflösungsmittel oder Lösemittel (*Menstruum*, *Dissolvens*), während der zweite, den man gewöhnlich als leidend betrachtet, der aufzulösende oder aufgelöste Körper (*corpus solvendum* oder *solutum*) genannt wird. So sind in den angeführten Beispielen Wasser, Schwefelsäure, Alkohol, die Lösemittel, dagegen Kochsalz, Zink und ätherisches Oel die aufzulösenden Körper. Wenn indess beide Körper flüssig sind und sie in solchem Verhältnisse vermischt werden, dass der eine den andern nicht vollständig löst, so findet man ganz in der Regel, dass jeder von ihnen die Rolle des Lösemittels und des zu lösenden zugleich übernimmt. Mischt man z. B. Aether und Wasser zu gleichen Theilen mit einander, so wird sowohl

Aether vom Wasser, als Wasser vom Aether gelöst, und man erhält, nach der Ruhe, in zwei gesonderten Schichten, ätherisches Wasser und darüber wasserhaltigen Aether. Dieselbe wechselseitige Durchdringung zeigt sich bei manchen starren Körpern, wenn sie einer Flüssigkeit in Ueberfluss hinzugesetzt werden, z. B. bei Harzen in Alkohol, zum Beweise, dass der gewöhnlich mit dem Worte Lösemittel verknüpfte Begriff des Alleinhätigen nicht naturgemäfs ist.

Bei den Auflösungen sind verschiedene Unterscheidungen zu machen. Ist das Lösemittel schon in gewöhnlicher Temperatur flüssig, so nennt man den Vorgang eine Auflösung auf nassem Wege (*Solutio via humida*); muss dagegen dasselbe erst durch Anwendung von Wärme in den Zustand der Flüssigkeit versetzt werden, findet also der Act des Lösens nur in höherer Temperatur Statt, z. B. von Wachs in Talg, so nennt man dies eine Auflösung auf trockenem Wege (*Solutio via sicca*); dahin gehört auch das Zergehen oder Schmelzen gewisser Salze, z. B. des schwefelsauren Natrons, in ihrem Krystallwasser bei höherer Temperatur, ein Vorgang, der auch wohl wässrige Schmelzung genannt worden ist.

Man unterscheidet ferner totale Auflösungen von partiellen. Erstere sind solche, wo der zu lösende Körper vollständig gelöst wird oder wenigstens bei hinreichender Menge des Lösemittels vollständig gelöst werden kann, wie z. B. der Zucker im Wasser. Letztere dagegen sind die, bei welchen auch bei jedem Ueberschuss des Lösemittels ein Rückstand bleibt. Diese Fälle, bei denen der zu lösende Körper nothwendigerweise ein aus mehreren Stoffen zusammengesetzter ist, kommen besonders häufig in der organischen Chemie vor, wo man dergleichen Substanzen folgeweise mit Wasser, Alkohol, Aether u. s. w. behandelt, um sie von den in diesen Flüssigkeiten auflöslichen Stoffen zu befreien. Ein solches partielles Auflösen nennt man auch Ausziehen (*Extrahere*) und das Product einen Auszug (*Extract*); auch gehört hierher das Aufgiefsen, Auslaugen, Aussüfsen, Auswaschen. (S. diese Artikel.)

Unter Auflösung im engeren Sinne des Worts versteht man immer eine unmittelbare Vereinigung des zu lösenden Körpers mit dem Lösemittel, gleichviel, ob er von diesem durch bloße Hitze wieder gänzlich zu trennen ist, wie das Kochsalz vom Wasser, oder nicht, wie die wasserfreie Schwefelsäure von derselben Flüssigkeit. Im weiteren Sinne begreift man darunter jedoch auch die Fälle, wo ein Theil des Lösemittels oder der zu lösende Körper erst zersetzt werden muss, bevor eine Auflösung stattfinden kann. Dergleichen Fälle sind die Lösungen der Metalle in wasserhaltigen Säuren; bei ihnen findet zunächst, vermittelt Wasserzersetzung, eine Oxydation Statt, und es sind eigentlich die so gebildeten Metalloxyde, die sich in der wässrigen Säure auflösen. Aehnlichergestalt muss bei Auflösung z. B. des kohlen-sauren Kalks in Salpetersäure erst die Kohlensäure ausgetrieben werden.

Die Auflösungen der ersteren Art geschehen meistens ruhig, ohne Aufbrausen, allein in der Regel findet dabei eine Temperaturveränderung Statt. Häufig wird die Temperatur erniedrigt; dies ist der Fall bei der Auflösung krystallirter Salze, sie mögen wasserfrei seyn, wie Chlorkalium, Chlornatrium, Salpeter, Salmiak, oder Wasser enthalten, wie Glaubersalz. Eine Temperatur-Erhöhung tritt dagegen ein, wenn ein Salz, welches wasserhaltige Krystalle zu bilden im Stande ist, im was-

serfreien Zustande in Wasser gelöst wird, z. B. wasserfreies schwefelfreies Natron. Auch beim Vermischen sehr dichter Flüssigkeiten mit Lösemitteln, zu denen sie eine große Verwandtschaft haben, wird die Temperatur gesteigert, z. B. beim Auflösen von concentrirter Schwefelsäure in Wasser oder Alkohol. Bei allen Auflösungen wird endlich die Dichtigkeit des Lösemittels durch den aufgelösten Körper, wenn er specifisch schwerer als dieses ist, vergrößert, doch scheinen dabei im Allgemeinen periodische Zusammenziehungen stattzufinden, wie sie unter dem Artikel Alkoholometrie (namentlich S. 253) für die Mischungen von Alkohol und Wasser näher beschrieben sind.

Häufig hat der zu lösende Körper eine solche Verwandtschaft zu dem Lösemittel, dass die Lösung in kurzer Zeit von selbst, oder nach geringer Bewegung der Flüssigkeit, erfolgt. Dies ist z. B. der Fall bei den zerfließlichen Salzen in Bezug auf Wasser; auch bei Flüssigkeiten, wie Alkohol und Wasser, Aether und Alkohol. Lösen die Flüssigkeiten einander zugleich in jedem Verhältniss, wie es bei den eben genannten der Fall ist, so nennt man auch den Act der gegenseitigen Durchdringung nicht mehr ein Lösen, sondern ein Vermischen oder Mischen.

Eben so oft aber besitzt der zu lösende Körper nur eine geringe Verwandtschaft zum Lösemittel, oder einen solchen Grad von Cohäsion seiner Theilchen, dass die Auflösung nur sehr langsam erfolgt, wenn sie nicht künstlich unterstützt wird. Ein solches Hülfsmittel ist zunächst das Schütteln, sowohl in Fällen, wo beide Körper flüssig sind, wie ätherisches Oel und Alkohol, oder in denen, wo der eine starr ist, wie bei Lösung von Salzen in Wasser. Ferner wird das Auflösen befördert durch mechanische Zertheilung des zu lösenden Körpers, wie durch Pülvern, Zerreiben, Raspeln, Körnen (Granuliren) oder Laminiren, letztere beiden Operationen bei Metallen-Körper, die mit geringer Menge des Lösemittels eine zähe Masse bilden, macht man leicht löslicher, wenn man sie zuvor mit Substanzen vermischt, die das Entstehen einer solchen Masse verhindern. So befördert man die Auflösung der Harze in Weingeist, wenn man sie zuvörderst im gepulverten Zustande mit gepulvertem Glase oder Quarze mengt, ferner die des Traganths in Wasser, wenn man es gepulvert zuvor mit einigen Tropfen Weingeist zusammenreibt. Die partielle Lösung, die Operation des Ausziehens, wird auch durch mechanischen Druck auf das Lösemittel befördert, weil dieses dadurch in den Stand gesetzt wird, stärker in den auszuziehenden Körper einzudringen. Darauf beruht die Wirkung der Extractionspressen. Ein Mittel endlich, welches nicht nur das Auflösen beschleunigt, sondern auch die Menge des aufgelösten vergrößert, ist die Wärme. Je wärmer das Lösemittel ist, desto mehr nimmt es im Allgemeinen von dem zu lösenden Körper auf, und besonders rasch geschieht dann die Auflösung, wenn dabei die Flüssigkeit in Bewegung gesetzt wird. Daher ist das Kochen so wirksam zur Beförderung der Lösung, zumal der zu lösende Körper meist am Boden der Gefäße liegt, der die Wärme zunächst empfängt. Hat übrigens das Lösemittel in der Wärme mehr gelöst, als es in der Kälte gelöst enthalten kann, so setzt es beim Erkalten einen Theil des Gelösten wieder ab, und je größer der Unterschied seiner Lösekraft in hoher und niedriger Temperatur ist, desto beträchtlicher ist der abgesetzte Theil. Darauf beruht das Krystallisiren verschiedener Salze. Bei den meisten Körpern befördert man die Auflösung, wenn man sie geradezu mit dem Lösemittel erhitzt. Bei einigen aber, z. B. bei thierischem

Leime, erreicht man diesen Grad besser durch ein frühes Einweichen oder Aufweichen (*Maceriren*) in kaltem Wasser. Es giebt auch Fälle, wo mit steigender Temperatur weniger gelöst, oder das bereits Gelöste wieder gefällt wird; diese Fälle aber, so wie diejenigen, wo dasselbe mit Vermehrung des Lösemittels eintritt, sind Folgen eingetretener Zersetzungen.

P.

Auflöslichkeit, Löslichkeit, die Fähigkeit eines Körpers sich in einem andern zu lösen, in Betracht sowohl auf die Geschwindigkeit, mit der es geschieht, als auf die Menge dessen, was sich löst. In der Regel gehen beide Elemente einander parallel, weshalb man denn auch für gewöhnlich unter einem schwerlöslichen oder leichtlöslichen Körper eben sowohl einen solchen zu verstehen pflegt, der sich langsam oder schnell auflöst, als einen, der in geringer oder in größerer Menge gelöst wird. Indess kann es geschehen, dass ein Körper sich langsam, und dennoch mit der Zeit in bedeutender Menge löst. Daher hat man denn bei genauer Betrachtung des Gegenstandes die Geschwindigkeit des Auflösens von der Menge des Sichlösenden wohl zu unterscheiden. Jene hängt, aufser der Natur und Temperatur der Stoffe, von dem Cohäsionszustande des zu lösenden Körpers, von der Gröfse der Berührungsflächen, und von der Bewegung der Flüssigkeit ab; diese dagegen blofs von den beiden ersten Elementen. Die Geschwindigkeit des Auflösens ist, eben wegen ihrer Bedingtheit von zufälligen oder äußeren Umständen, von keinem Belange für den Chemiker; wichtiger ist es dagegen für ihn, die Löslichkeit der Stoffe in Bezug auf die Menge des Sichlösenden zu kennen, da in der That ein großer Theil der möglichen Trennungen der Stoffe, auf dieser Eigenschaft beruht. Für diesen Zweck genügt es indess, in den meisten Fällen zu wissen, ob ein Körper überhaupt löslich oder unlöslich sey, ob wenig oder viel von ihm gelöst werde; und das mag wohl ein Grund seyn, weshalb die Löslichkeit der Körper in dieser Beziehung noch nicht so untersucht worden ist, wie sie es wohl verdient. Die Aufgabe über die Löslichkeit der Körper besteht darin, zu ermitteln: Wie viel von einem Stoffe bei gegebener Temperatur von einem gegebenen Lösemittel aufgenommen werden könne. Diese Aufgabe hat man bisher nur für einige wenige Salze zu lösen gesucht, und selbst bei diesen ist es nicht geglückt, ein allgemeines Gesetz aufzufinden.

Die gründlichste Untersuchung über diesen Gegenstand verdanken wir Gay-Lussac *). Er hat uns sowohl eine Reihe genauer Angaben über die Löslichkeit verschiedener Salze in Wasser geliefert, als auch die Umstände näher bezeichnet, welche bei derlei Untersuchungen in Betracht kommen. Was letztere betrifft, so sind sie folgende.

Es löst sich gleichviel von einem Salz, man mag es mit Wasser erhitzen und bis zu der Temperatur, für welche man die Löslichkeit bestimmen will, erkalten lassen, oder einen Ueberschuss desselben mit kaltem Wasser übergießen und langsam auf dieselbe Temperatur erheben. In den tiefen Kellern der Pariser Sternwarte, wo die Temperatur unveränderlich 11°, 7 C. ist, lösten sich in 100 Theile Wasser durch Erkaltung 22,24 Thl. Salpeter, durch blofses Stehenlassen 22,22 Thl. desselben Salzes.

Eine bei einer gewissen Temperatur gesättigte Salzlösung setzt nichts

*) Ann. de chim. et de phys. T. XI, p. 296.

von dem Salze ab, so lange die Temperatur unverändert bleibt, und nichts von dem Wasser verdunstet.

Eine senkrechte Säule von einer Salzlösung enthält, man mag sie noch so lange stehen lassen, unten nicht mehr Salz als oben.

Die Menge des Salzes, welche sich bei einer bestimmten Temperatur in Wasser löst, ist unveränderlich, sobald man einen Ueberschuss vom Salze anwendet. Gießt man aber die Lösung von diesem Ueberschuss ab, und setzt sie einer langsamen oder freiwilligen Verdampfung aus, so kann man ihr einen gewissen Antheil Wasser entziehen, ohne dass Salz ausgeschieden wird. Die Lösung ist dann übersättigt. Eine solche übersättigte Lösung erhält man auch, wenn man in eine gesättigte, nachdem sie von dem Ueberschuss des nicht gelösten Salzes getrennt worden, kleine Mengen desselben Salzes im gepulverten Zustand einträgt, die dann gelöst werden. Bringt man andererseits eine auf diese oder jene Weise bereitete, übersättigte Lösung mit einem Krystall oder einer grösseren Masse des gelösten Salzes in Berührung, so wird der Lösung das überschüssig Gelöste entzogen (während ein darin gebrachter Krystall wächst) und sie kehrt in den Zustand der Sättigung zurück. Dieser Zustand ist für ein und dasselbe Salz bei einer und derselben Temperatur ein fester. Der Zustand der Uebersättigung dagegen hat nichts festes, hängt auch nicht von der Verwandtschaft des Lösemittels zum Salze ab, ist ihr wenigstens nicht proportional, sondern scheint von einer eigenthümlichen Anordnung der Salztheilchen bedingt zu werden, vermöge welcher sie mehr oder weniger stark der Aenderung ihres Zustandes widerstehen. Eine übersättigte Salzlösung ist einem unter 0° erkalteten Wasser zu vergleichen, welches bei der geringsten Erschütterung die gebundene Wärme entweichen lässt und dann krystallisirt, d. h. gefriert. Dem Zustande der Uebersättigung ist es zuzuschreiben, dass, bei langsamer oder freiwilliger Abdampfung einer Lösung, die Ausscheidung des Salzes oft nicht an der Oberfläche erfolgt, wo doch die Entziehung des Wassers geschieht, sondern an einem bereits am Boden liegenden Krystall, so dass dieser wächst, ohne dass sich neue Krystalle bilden. Die anziehende Wirkung eines solchen Krystalls oder einer unkrystallisirten Masse auf die Salztheilchen der Lösung führt diese aus dem Zustande der Uebersättigung immer in den der Sättigung zurück.

Was die beim Sättigungszustande gelöste Salzmenge betrifft, so fand Gay-Lussac, dass sie bei einigen Salzen proportional ist der Temperatur, so dass, wenn man die von 100 Theilen Wasser aufgelöste Salzmenge mit y , die (Centesimal-) Temperatur mit x bezeichnet, beide Gröfsen durch eine Gleichung ersten Grades verknüpft werden können. So fand er für

Chlorkalium	$y = 0,2738 x + 29,23$
Chlorbarium, wasserfrei	$y = 0,2711 x + 30,62$
Chlornatrium	$y = 0,04768 x + 35,15$
Schwefelsaures Kali	$y = 0,1741 x + 8,36$
Schwefelsaure Talkerde, wasserfrei	$y = 0,47816 x + 25,76$

Gleichungen, welche auf folgenden Resultaten beruhen:

Chlorkalium.		Chlorbarium.			Chlornatrium *).	
Temp.	Gelöst in 100 Wasser.	Temp.	Wasser-frei gelöst in 100 Wasser.	Krystal-lisirt	Temp.	Gelöst in 100 Wasser.
0°,00 C.	29,21	15°,64	34,86	43,50	13°,89	35,81
19 ,35	34,53	49 ,31	43,84	55,63	16 ,90	35,88
52 ,39	43,59	74 ,89	50,94	65,51	59 ,93	37,14
79 ,58	50,93	105 ,48	59,58	77,89	109 ,73	40,38
109 ,60	59,26					

Schwefelsaures Kali.		Schwefelsaure Talkerde.		
Temp.	Gelöst in 100 Wasser.	Temp.	Wasser-frei gelöst in 100 Wasser.	Krystal-lisirt
12°,72 C.	10,57	14°,58 C.	32,76	103,69
49 ,08	16,91	39 ,86	45,05	178,34
63 ,90	19,29	49 ,08	49,18	212,61
101 ,50	26,33	64 ,35	56,75	295,13
		97 ,03	74,30	644,44

Bei andern Salzen ergab sich ein stärkerer Anwuchs der Löslichkeit. Dies war der Fall mit folgenden drei:

Salpetersaurer Baryt.		Salpetersaures Kali.		Chlorsaures Kali.	
Temper.	Gelöst in 100 Wasser.	Temper.	Gelöst in 100 Wasser.	Temper.	Gelöst in 100 Wasser.
0°,00 C.	5,00	0°,00 C.	13,32	0°,00	3,33
14 ,95	8,18	5 ,01	16,72	13 ,32	5,60
17 ,62	8,54	11 ,67	22,23	15 ,37	6,03
37 ,87	13,67	17 ,91	29,31	24 ,43	8,44
49 ,22	17,07	24 ,94	38,40	35 ,02	12,05
52 ,11	17,97	35 ,13	54,82	49 ,08	18,96
73 ,75	25,01	45 ,10	74,66	74 ,89	35,40
86 ,21	29,57	54 ,72	97,05	104 ,78	60,24
101 ,65	35,18	65 ,45	125,42		
		79 ,72	169,27		
		97 ,66	236,45		

Bei diesen Salzen lässt sich also die Löslichkeit nicht mehr, wie bei den ersten fünf, durch eine gerade Linie construiren; vielmehr würde man, wenn man die Temperatur zu Abscissen und die Salzmenge zu Ordinaten nimmt, eine Curve erhalten, die rasch in die Höhe steigt.

Am auffallendsten war das Resultat für das schwefelsaure Natron. Bei diesem ergab sich nämlich:

*) Nach Fuchs (Kastner's Archiv Bd. VII. S. 407) ist die Löslichkeit des reinen Kochsalzes bei allen Temperaturen vollkommen gleich, und die Abweichung von dieser Gleichheit entspringen aus einer Beimengung von Calcium- und Talciumchlorid. Nach ihm lösen 100 Thl. Wasser bei jeder Temperatur 37 Thl. Kochsalz.

Temper.	Wasserfrei		Temper.	Wasserfrei	
	gelöst in 100 Wasser			gelöst in 100 Wasser	
	Krystallisirt			Krystallisirt	
0°,00 C.	5,02	12,17	33°,88 C.	50,04	312,11
11 ,67	10,12	26,38	40 ,15	48,78	291,44
13 ,30	11,74	31,33	45 ,04	47,81	276,91
17 ,91	16,73	48,28	50 ,40	46,82	262,35
25 ,05	28,11	99,48	59 ,79	45,42	
28 ,76	37,35	161,53	70 ,61	44,35	
30 ,75	43,05	215,77	84 ,42	42,96	
31 ,84	47,37	270,22	103 ,17	42,65	
32 ,73	50,65	322,12			

Das schwefelsaure Natron zeigt also die Merkwürdigkeit, dass seine Löslichkeit nicht fortwährend steigt mit der Temperatur, sondern bei etwa 33° C. ihr Maximum erreicht, und darauf, bei größerer Wärme wieder abnimmt. Diese Erscheinung wird dadurch einigermaßen erklärlich, dass eine Lösung vom schwefelsauren Natron, wenn man sie bei 33° C. krystallisiren lässt, wasserfreie Krystalle liefert. Man kann also annehmen, dass bis zu 33° C., wasserhaltiges Salz in der Lösung enthalten sey (wenn man es auch wasserfrei in das Wasser schüttete), oberhalb dieser Temperatur aber wasserhaltiges, nebst wasserfreiem, das eine geringere Löslichkeit besitze und dessen Menge mit der Temperatur zunehme. Dieselbe Eigenschaft besitzen selensaures Natron und schwefligsaures Natron; auch sie zeigen bei 33° C., dem Punkt, von welchem an ihre Lösungen wasserfreie Krystalle liefern, das Maximum der Löslichkeit*). Etwas Aehnliches scheint auch beim Chlornatrium vorzukommen, das bei gewöhnlichen Temperaturen wasserfrei anschießt, in niedriger Temperatur aber wasserhaltige Krystalle liefert, und nach einer Bemerkung von Mitscherlich bei — 10° C. weniger (reichlicher?) löslich ist als zwischen 0° und 100°**). Da das wasserhaltige Kochsalz, nach einer mikroskopischen Beobachtung von Ehrenberg***) schon bei gewöhnlicher Temperatur abgesetzt und erst darauf in das wasserfreie umgewandelt wird, so ist es möglicherweise schon bei gewöhnlicher Temperatur in der Lösung enthalten, und dies vielleicht der Grund, weshalb die Löslichkeit des Kochsalzes so wenig oder gar nicht mit der Temperatur variirt, eine Eigenschaft, die nach Herman (*Pogg. Ann. Bd. 15, S. 482*) auch das schwefelsaure Lithion besitzen soll.

Möglich ist auch, dass überhaupt allemal, wenn die Löslichkeit nicht mit der Temperatur proportional fortzuschreiten scheint, eine solche Veränderung des Salzes in der Lösung vorgegangen ist. Es verdiente dies näher untersucht zu werden.

Noch sey bemerkt, dass eine Salzlösung zuweilen mehr von einem andern Salze aufzulösen vermag als reines Wasser. So wird Salpeter von Kochsalzlösung oder einer Lösung von salpetersaurem Kalk reichlicher gelöst als von einer gleichen Menge reines Wasser, ebenso Kochsalz reich-

*) *Pogg. Ann. Bd. IX, S. 625; Bd. XI, S. 325 und Bd. XII, S. 140.* — Als fernere Beispiele von geringerer Löslichkeit in höherer Temperatur als in niedriger werden genannt: Manganchlorid, salpeters. Natron (Marx, Schwgg. J. Bd. 57, S. 404), schwefels. Manganoxydul; schwefels. Ceroxydul (Otto Pogg. Ann. Bd. XXXX. S. 404.) u. s. w.

**) *Pogg. Ann. Bd. 12, S. 140.*

***) *Pogg. Ann. Bd. 36, S. 237.*

licher von Wasser, welches Gyps oder Alaun enthält, als von reinem. Diese Erscheinungen hängen muthmaßlich mit der Bildung von Doppelsalzen zusammen, und haben, obwohl practisch nicht unwichtig, doch unter theoretischem Gesichtspunkt, eben wegen ihrer Complication, wenig Interesse.

P.

Auflösung, Lösung nennt man auch das Erzeugniß des Auflösens oder Lösens, also die homogene Flüssigkeit, welche aus der wechselseitigen Durchdringung zweier Stoffe hervorgeht. Es ist oft die Frage aufgeworfen, wie man sich den Zustand der Auflösung zu denken habe und ob derselbe verschieden sei von dem einer chemischen Verbindung. Aeltere Chemiker, namentlich Lavoisier, wurden dadurch veranlaßt, einen Unterschied zu machen zwischen Lösung und Auflösung (*Solutio* und *Dissolutio*). Lösung nannten sie den Zustand, wo, nach ihrer Meinung, bloß eine Trennung des Zusammenhanges stattfindet; und Auflösung hießen sie den, wo sie glaubten, es habe zugleich eine Wahlziehung mitgewirkt. Das Product des Auflösens von Kochsalz in Wasser wäre hiernach eine Lösung, das von Natron in wässriger Chlorwasserstoffsäure eine Auflösung. Diese Unterscheidung ist mit Recht außer Gebrauch gekommen, schon deshalb, weil es unzählige Fälle giebt, wo es sehr schwierig wäre, sie folgerecht anzuwenden; allein die Frage über die Verschiedenheit der Auflösung oder Lösung von der chemischen Verbindung ist seitdem ihrer Entscheidung im Grunde nicht näher gerückt. Wenn man den Namen Gemisch oder chemische Verbindung nur auf diejenigen zusammengesetzten Körper übertragen will, deren Bestandtheile in einem festen und einfachen Verhältnisse stehen, so ist klar, dass die Auflösung keine solche Vereinigung ist, denn das wesentliche Kennzeichen der Auflösung besteht eben darin, dass die Bestandtheile bis zu einem gewissen von deren Natur und der Temperatur abhängigen Punkte jedes beliebige Verhältniss zu einander besitzen können. Sonst aber findet zwischen der Auflösung und der nach festem Verhältnisse gebildeten chemischen Verbindung kein wesentlicher Unterschied statt. Die Homogenität der Masse ist, bis in die kleinsten wahrnehmbaren Theilchen, bei beiden vollkommen gleich; und es ist kein Grund vorhanden, die Auflösung bloß als eine mechanische Verbreitung des einen Stoffs in dem andern anzusehen. Beweis dafür liefert unter andern die wohlbekannte und für die ganze Chemie so wesentliche Thatsache, dass man nicht unterschiedlos jeden Körper in jeder Flüssigkeit so auflösen kann, wie man im Stande ist, je zwei beliebige Pulver mit einander zu vermengen, dass vielmehr die Auflöslichkeit eines Körpers in einem andern zu oberst von denjenigen Kräften abhängt, welche man mit dem unbestimmten Collectivnamen chemische Verwandtschaft belegt und als das Ursächliche der nach festen Verhältnissen gebildeten Verbindungen ansieht. Von der wahrhaften gegenseitigen Durchdringung der eine Auflösung darstellenden Körper liefert ferner einen genügenden Beweis die von Gay-Lussac*) gemachte Beobachtung, gemäß welcher Salzlösungen, die in senkrechten sechs Fuß hohen Glasröhren ein halbes Jahr lang der unveränderlichen Temperatur des tiefen Kellers der Pariser Sternwarte ausgesetzt waren, unten genau eben so viel Salz enthielten wie oben, was nicht der Fall hätte seyn können, wenn die Salztheil-

*) Ann de chim. et de phys. T. XI, p. 306.

chen blofs fein vertheilt und für sich der Wirkung der Schwerkraft unterworfen gewesen wären. Auch die Dichtigkeit der Lösungen, die immer gröfser ist als das arithmetische Mittel aus den Dichtigkeiten ihrer Bestandtheile, so wie der Siedpunkt, der z. B. bei Salzlösungen immer den der lösenden Flüssigkeit übertrifft, zeugen hier von dem Dasein wirklich chemischer Kräfte. Insofern kann man also den Auflösungen nicht die Kennzeichen einer chemischen Verbindung absprechen; allein andererseits giebt es doch Erscheinungen, die einen Unterschied zwischen beiden begründen. Dahin gehört, die bei einigen Legirungen beobachtete und namentlich bei den Mischungen von Alkohol und Wasser näher von Rudberg untersuchte Thatsache (S. Seite 254), dass das Maximum der Verdichtung einem festen atomistischen Verhältnisse der Bestandtheile entspricht. Ferner haben die eigentlich chemischen Verbindungen, z. B. Wasser, Alkohol, Schwefelkohlenstoff, sobald nur der Luftdruck unverändert bleibt, immer einen festen Siedpunkt; wogegen die Auflösungen in der Regel denselben bei fortgesetztem Sieden verändern, indem von einem ihrer Bestandtheile mehr fortgeht als vom andern. Indess ist dies Kriterium doch nicht ganz sicher, denn es giebt auch Auflösungen, d. h. Verbindungen, die nicht nach atomistischen Verhältnissen gebildet sind und dennoch einen constanten Siedpunkt besitzen, z. B. Salpetersäure, Salzsäure, Alkohol bei einem gewissen Wassergehalt, wie unter dem Artikel *Absorption* (S. 49 ff) näher gezeigt worden. Im Allgemeinen bleibt es aber wahr, dass die Auflösungen einen bedeutenderen Grad von leichter Zersetzbarkeit besitzen. Diese, die Unbestimmtheit des Bestandtheilsverhältnisses und der Umstand, dass die physischen Eigenschaften einer Lösung in der Regel gleichsam das arithmetische Mittel aus den Eigenschaften der Bestandtheile sind, letztere z. B. niemals so verändert werden, wie die von Natron und Chlorwasserstoffsäure bei ihrer Sättigung zu Kochsalz, — machen den Hauptunterschied zwischen Lösung und eigentlich chemischer Verbindung aus. Indess ist keine scharfe Grenze zwischen ihnen zu ziehen. Die nach festen Verhältnissen gebildeten Verbindungen zeigen in diesen Verhältnissen und in der Stärke der ihre Bestandtheile verknüpfenden Kräfte eine so grofse Verschiedenartigkeit, dass sie endlich ganz in die Auflösungen übergehen und man nicht umhin kann, diese als die letzten Glieder in der Stufenreihe der chemischen Verbindungen zu bezeichnen. — Bei der vorherrschenden Richtung der heutigen Chemie, blofs die eigentlich chemischen Verbindungen zu untersuchen, ist übrigens das Studium der Auflösungen und deren Gesetze mehr vernachlässigt als es zu seyn verdiente. P.

Aufthaupt, ein mit »Schmelzpunkt« identischer Ausdruck, der für Substanzen gebraucht wird, die, wie Eis, bei niederer Temperatur schmelzen. P.

Augenschwarz bildet, mit Schleim gemengt, das *Pigmentum nigrum* in den Augen der Thiere und wurde von L. Gmelin daraus isolirt; das durch wiederholtes Schütteln des *Pigmentum nigrum* der Ochsen- und Kälber-Augen mit Wasser, Waschen und Trocknen erhaltene Augenschwarz bildet braunschwarze, matte, leicht zerreibliche, in Wasser niedersinkende, die Electricität leitende, unschmelzbare, geruchlose Stücke. Beim Erhitzen zersetzt es sich, unter Entwicklung ammoniakalischer Producte und hinterlässt beim Verbrennen eine Chlornatrium, Kalk, phosphorsauren Kalk und Eisenoxyd enthaltende Asche. Wird

von concentrirten Säuren und Alkalien unter Zersetzung aufgelöst; in verdünnten Säuren, Weingeist, Aether, flüchtigen und fetten Oelen ist es unauflöslich. L.

Augenstein (*Lapis divinus*), ein veraltetes Medicament, bereitet, indem man gleiche Theile Kupfervitriol, Alaun und Salpeter rasch in ihrem Krystallwasser schmilzt, ein Achtel Kampher hinzusetzt, und das Ganze schnell auf Blech ausgießt, wo es dann zu einer hellgrünlichen Masse erstarrt. Augenstein heißt auch zuweilen der Zinkvitriol, weil er gegen Augenkrankheiten gebraucht wird, so wie der Chalcedon, wenn er mit einer dem Auge ähnlichen Zeichnung versehen ist. P.

Augit (*Pyroxène*). Eine Mineralgattung, welche solche Mineralien einschließt, deren Krystalle sich auf eine schiefe rhombische Säule zurückführen lassen, deren Seitenflächen sich unter $87^{\circ}5'$ und $92^{\circ}55'$, und deren Endflächen sich zu der zur kleinen Diagonale senkrechten Fläche unter $106^{\circ}6'$ und $73^{\circ}54'$ neigen, und eine zu den Seitenflächen parallele und deutliche Spaltbarkeit erweisen. Die Härte dieser Mineralien fällt zwischen die des Apatits und die des Feldspaths, und ihr specifisches Gewicht zwischen 3,2 und 3,5. Die hieher gehörigen Mineralien schmelzen vor dem Löthrohr theils zu einem farblosen, theils zu einem grünlichen oder schwarzen Glase; einige sind indessen nur an den Kanten schmelzbar (*Diallage*). Von den Säuren werden sie nur sehr wenig angegriffen. Ihrer chemischen Natur nach sind es Zweidrittelsilikate von Kalkerde, Talkerde, Eisen- und Manganoxydul, welche als isomorphe Basen einander ersetzen, wiewohl immer zwei derselben vorzugsweise vorhanden sind. Gewisse Augite, namentlich die in vulkanischen Gesteinen vorkommenden, zeichnen sich durch einen Gehalt an Thonerde aus, welcher ihre Constitution noch etwas zweifelhaft macht. Die allgemeine Formel für die (thonerdefreien) Augite ist folglich $3 R O_1 + 2 Si O_3$, worin $R = Ca, Mg, Fe, Mn$ ist.

I. Thonerdefreie Augite.

- a) Kalk - Talk - Augit $3 \begin{Bmatrix} CaO \\ MgO \end{Bmatrix} + 2 Si O_3$, hieher gehören: der Diopsid, der Salit, der Malakolith, kurz die lichtereren Abänderungen.
- b) Kalk - Eisen - Augit $3 \begin{Bmatrix} CaO \\ FeO \end{Bmatrix} + 2 Si O_3$, hieher der Hedenbergit; der schwarze A. von Taberg, der grüne vom Champlainsee, der rothbraune (Malakolith) von Degerö in Finnland.
- c) Kalk - Mangan - Augit $3 \begin{Bmatrix} MnO \\ CaO \end{Bmatrix} + 2 Si O_3$, welcher durch den rothen Mangankiesel von Långbanshyttan repräsentirt wird.
- d) Eisen - Mangan - Augit $3 \begin{Bmatrix} FeO \\ MnO \end{Bmatrix} + 2 Si O_3$, wohin man Thomson's *Bisilicate of Manganese* von Franklin in N. Amerika rechnen kann.
- e) Kalk - Talk - Eisen - Augit $3 \begin{Bmatrix} CaO \\ MgO \\ FeO \end{Bmatrix} + 2 Si O_3$, der Malakolith von Björmyresweden.

II. Thonerdehaltige Augite.

Die hieher gehörigen Abänderungen enthalten in der Regel sämtliche Basen, unter denen dann Talkerde und Eisenoxydul die herrschen-

den sind; einigen fehlt die Kalkerde. In mineralogischer Beziehung lassen sich hier unterscheiden:

- a) gemeiner Augit, fast stets krystallisirt in vulkanischen Gesteinen vorkommend; sein Thonerdegehalt beträgt etwa 5 Proc.;
- b) Diallag (Bronzit);
- c) Hypersthen. Von beiden giebt es Abänderungen, welche keine Kalkerde enthalten. Ihr Thonerdegehalt steigt bis 4 Proc.; fehlt aber einigen auch ganz.

Nach den Untersuchungen von Kudernatsch ist die Quantität der Thonerde von der Art, dass man sie weder den Basen noch der Säure zurechnen kann, ohne das Verhältniss eines Zweidrittelsilikats zu ändern. Am besten lassen sich noch die erhaltenen Resultate deuten, wenn man in diesen Augiten die Thonerde mit dem Ueberschuss der Basen zu einem Trialuminat verbunden annimmt. R.

Aurade, Pomeranzenblüthenkampfer. Plisson schied aus dem Pomeranzenblüthenöl mittelst Alkohol einen, in weissen, perlglänzenden, geruch- und geschmacklosen Nadeln krystallisirenden Körper aus, welcher wahrscheinlich das Stearopten dieses Oels ist. Nach Henry und Plisson enthält es 83,76 Kohlenstoff, 15,09 Wasserstoff und 1,15 Sauerstoff; ohne Zweifel rührt dieser Sauerstoffgehalt nur von einem Verlust an Kohlenstoff bei der Analyse her, und es wäre dann ein Kohlenwasserstoff, der nahe dieselbe Zusammensetzung besitzt, wie das Stearopten des Rosenöls. Erhitzt schmilzt er bei 50°, erstarrt beim Erkalten zu einer wachsartig-unkrystallinischen Masse und sublimirt bei Abchluss der Luft ohne Zersetzung. Es erfordert 10 Theile siedenden Weingeist von 44° B. zu seiner Auflösung, welche auch in Aether so wie in Terpentinöl erfolgt, nicht aber im Wasser. Säuren verändern es nicht.

Man erhält aus frischem Neroli Oel, welches reichhaltiger als altes ist, gegen 1 Procent. L.

Aurantiin, s. Hesperidin.

Auripigment (Operment; Rauschgelb. — Arsenic sulfuré jaune. — Yellow Orpiment). Ein selten in Kristallen (die sich auf eine schiefe rhombische Säule beziehen lassen) sich bietendes, meist massiges Mineral, von traubiger, niereenförmiger, geflossener Aussenfläche und körnig-blättrigem Gefüge. Es ist durchscheinend, im Bruche fett- bis diamantglänzend, citronen- bis pomeranzen- gelb, seltener oliven- oder zeisiggrün, oder braun und schwärzlich angelauten; hat ein spezifisches Gewicht = 3,48 und ist weicher als Gyps. Vor dem Löthrohr entflammt es sich; Geruch nach schwefliger Säure und, vorzüglich auf der Kohle, auch nach Arsen. Nach Klaproth besteht es aus 62 Th Arsenik und 38 Th. Schwefel, und kann als As_2S_3 angesehen werden. Es findet sich zu Neusohl in Ungarn, von Realgar u. s. w. begleitet, in Thon- und Mergellagern, und zu Hall in Tyrol; auf Gängen mit Arsen, Realgar, Blende etc. zu Kapnik, St. Andreasberg u. s. w.; zuweilen auch als vulkanisches Sublimat. L.

Ausdehnung, Ausbreitung (Dilatatio, Expansio), die Vergrößerung des Volums der Körper, bei Gasen auch wohl Verdünnung (Rarefactio) genannt; ihr entgegen ist die Zusammenziehung, Zusammendrückung oder Verdichtung, als diejenige Veränderung des Volums, welche in einer Verringerung besteht. Das Volum eines

Körpers kann, ohne Veränderung seiner Masse (seines Gewichts) oder seiner chemischen Beschaffenheit, auf zweierlei Wegen verändert werden, durch mechanische Kräfte und durch Wärme. Die Volumsveränderungen der ersteren Art bleiben hier außer Acht (sie werden im Art. Cohäsion näher betrachtet); auch übergehen wir die, welche von einer Gewichtsveränderung des Körpers, d. h. von Aufnahme oder Abgabe eines anderen Stoffs begleitet werden, wie das der Fall ist mit denen der hygroskopischen Körper in freier Luft oder mit dem Anschwellen oder Aufquellen verschiedener Substanzen, besonders organischen Ursprungs beim Einweichen in Flüssigkeiten, z. B. des Leims in Wasser u. s. w.

Hier ziehen wir nur die durch Wärme bewirkten Volumsveränderungen der Körper in Betracht, und selbst von diesen nur diejenigen, bei welchen, außer dem Gewicht der Körper, auch der Aggregatzustand und die innere Constitution derselben unverändert bleibt. Wir sehen also ab, einerseits von den bleibenden Volumsveränderungen, welche verschiedene Substanzen durch Wirkung einer hohen Hitze erfahren, also von dem Schwinden oder Zusammensintern verschiedener, besonders thonerdehaltiger Substanzen in heftigem Feuer, so wie von der Ausdehnung gewisser Krystalle beim Schmelzen zu glasiger Masse *), als andererseits von den Volumsveränderungen, die ein Körper, ohne Aenderung der Temperatur, beim Uebergang aus einem Aggregatzustand in den andern erleidet. Es sind also nur die vorübergehenden, bei einem und demselben Aggregatzustande, ohne Aenderung des Gewichts und der innern Beschaffenheit, durch Wärme erzeugten Volumsveränderungen, welche uns hier beschäftigen werden.

Diese Veränderlichkeit des Volums, diese Ausdehnbarkeit, ist eine Eigenschaft aller Körper. So gut wie es keinen Körper giebt, der nicht das besitzt, was wir Temperatur nennen, so findet sich auch keiner, der nicht sein Volum mit einem Wechsel der Temperatur veränderte. Und daher sind denn auch diese Volumsveränderungen für uns das hauptsächlichste Mittel, Temperaturveränderungen wahrzunehmen und selbst zu messen. Im Allgemeinen hat die Erfahrung für diese Veränderungen den Satz ergeben, dass das Volum der Körper mit steigender Temperatur wächst und mit sinkender abnimmt. Dieser Satz ergibt sich schon aus ganz rohen Wahrnehmungen und nur die feineren Beobachtungsmittel haben einige wenige Ausnahmen kennen gelehrt. In der weiteren Beziehung zwischen dem Volum und der Temperatur der Körper giebt es aber kein allgemeines Gesetz; sie ist verschieden nach der Aggregatform des Körpers, und in den meisten Fällen auch nach dessen

*) Nach Magnus's Versuchen (*Pogg. Ann. Bd. 20, S. 477*) geben Vesuviankrystalle von Egg, deren specif. Gewicht = 3,45 ist, durch Schmelzen ein Glas von 2,957 spec. Gew., ohne dass eine Substanz fortgegangen oder die Masse blasig geworden wäre. Eben so verhielt sich ein rothbrauner Granat von Grönland. Bei diesem betrug das specif. Gewicht im krystallisirten Zustande 3,9, nach dem Schmelzen im glasigen nur 3,05. Eine eben so entschiedene Verminderung des specifischen Gewichts beobachtete Magnus (*Pogg. Ann. Bd. 22, S. 391*) späterhin am grünen Granat (Grossular) vom Wilufluss (von 3,63 auf 2,95) und Rammelsberg (*Pogg. Ann. Bd. 50, S. 366*) am Axinit (von 3,295 auf 2,815). Aehnliches scheint beim Reaumur'schen Porcellan vorzukommen. Es hat das specif. Gewicht 2,77 bis 2,80, während das Glas, aus dem es entsteht, nur ein von 2,62 besitzt. Doch ist hier die chemische Identität der Masse etwas zweifelhaft.

Natur. Am einfachsten ist sie bei den Gasen, daher wir sie bei diesen zunächst betrachten wollen.

1. Ausdehnung der gasförmigen Körper.

Alle Gase, alle Dämpfe, so lange sie den Gaszustand behalten, werden durch gleiche Temperaturanzwüchse gleich stark ausgedehnt, und zwar ist die Zunahme ihres Volums gleich unter jedem Druck, der nur ihren Gaszustand ungeändert lässt. Aus diesem von Gay-Lussac *) und andern genauen Physikern erwiesenen Gesetze und aus der Betrachtung, dass die Ausdehnung bei den Gasen, indem sie nicht, wie bei den starren und flüssigen Körpern durch Cohäsionskräfte gestört wird, das reine Resultat der Wärmewirkung seyn müsse, hat man den sehr wahrscheinlichen Schluss gezogen, dass die Gase sich gleichförmig mit der Temperatur ausdehnen, d. h. dass die Anwüchse ihres Volums proportional sind den Anwüchsen der Temperatur (Wärme-Intensität) oder ein Maafs derselben darstellen.

Dieser Satz gilt natürlich nur von der Ausdehnung der Gase an sich, von ihrer wahren Ausdehnung, die sich aber nicht geradezu beobachten lässt, da man immer genöthigt ist, die Gase in Gefäße einzuschließen und diese sich gleichfalls ausdehnen. Man kann aber aus der beobachteten oder scheinbaren Ausdehnung die wahre herleiten, wenn man die nöthige Berichtigung wegen der Ausdehnung der Gefäße daran anbringt.

Die Methoden, welche man angewandt, um die Ausdehnbarkeit der Gase zu bestimmen, bestehen in der Messung entweder der Volume, welche eine Gasmasse bei verschiedenen Temperaturen einnimmt, oder der Spannkraft, welche eine solche unter gleichen Umständen bei unverändertem Volum zeigt, wobei denn angenommen wird, dass diese Spannkraft jenen Volumen proportional seyen. Es reicht hin, dergleichen Messungen für zwei Temperaturen zu machen, am besten für den Gefrierpunkt des Wassers und dessen Siedpunkt bei einem bestimmten Barometerstand, da diese Temperaturen fest, und von jeder thermometrischen Bestimmung unabhängig sind. Die vorausgesetzte Gleichförmigkeit der Ausdehnung giebt dann die Volume des Gases für alle dazwischen, darunter oder darüber liegenden Temperaturen.

Am häufigsten sind die Methoden der ersten Art angewandt, und zwar in zweierlei Weise. Entweder hat man nämlich das Gas, in einer thermometerartig gestalteten und an einem Ende offenen Glasröhre durch einen Tropfen Quecksilber abgesperrt und, mit horizontaler Lage dieser Röhre, in einer Flüssigkeit (gewöhnlich Oel), aus welcher seitwärts das offene Ende der Röhre bis zum Quecksilbertropfen hervorragte, folgendes den erwähnten beiden festen Temperaturen ausgesetzt, — oder man hat dasselbe in einem größeren Glasgefäße, das mit einer kurzen offenen Röhre versehen, erstlich bis zum Siedpunkt des Wassers erhitzt, und darauf, nachdem das Ende der Röhre in Quecksilber getaucht worden, langsam bis zum Gefrierpunkt erkalten lassen. Bei der ersten Methode ergiebt sich aus der Fortrückung des Quecksilbertropfens die Ausdehnung des Gases, sobald man das Volum der Kugel nebst ihrer Röhre kennt, bei der zweiten aus der Menge des eingetretenen Quecksilbers die Zusammenziehung des Gases, so bald man weiß, durch wie viel Quecksilber das Gefäß

*) Ann. de chim. T. 43, p. 137; H. Davy, Ann. de chim. et de phys. T. 25, p. 86.

beim Gefrierpunkt ganz gefüllt wird. Die erste Methode ist von mehren Physikern, namentlich von Gay-Lussac angewandt *), die zweite unter andern von Rudberg **). Letztere ist, nach Beachtung aller Umstände, namentlich der durch das Aufsteigen des Quecksilbers vermindernden Spannkraft des Gases, genauer als die erste, bei welcher der Quecksilbertropfen wegen der immer nothwendig geringen Weite der Röhre, durch Reibung in seiner regelmässigen Bewegung gehindert ist.

Bei dem Verfahren der zweiten Art, das auch von Rudberg angewandt worden ***) , ist das Gas eingeschlossen in eine weite horizontale Röhre, die durch eine engere in Verbindung steht mit einer weiten vertikalen Röhre. Diese und eine zweite vertikale, ganz offene Glasröhre gehen luftdicht durch den oberen Boden einer mit Quecksilber gefüllten Büchse, deren unterer Boden aus einem Ledersack besteht, der durch eine Schraube gesenkt und gehoben werden kann. Bei der ursprünglichen Temperatur, der des Gefrierpunkts, die dem Gase durch Eintauchung der horizontalen Röhre in eine schmelzende Schneemasse gegeben wird, füllt das Gas die Röhre bis zu einem feinen Diamantstrich auf der engen Röhre, und, wenn man es nun der Siedhitze des Wassers aussetzt, wird es auf diesem Volum erhalten, dadurch, dass man mittelst der Schraube das Quecksilber wieder bis zu jenem Strich heraufdrückt. Die Höhe des dabei in die offene vertikale Röhre gestiegenen Quecksilbers giebt zugleich den Druck an, welchen das Gas mehr als den atmosphärischen Druck erleidet †).

Bei beiden Arten von Messungen muss das Gas in dem zum Versuche angewandten Glasrohr oder Glasgefäß selbst, mittelst Chlorcalcium, wohl ausgetrocknet werden, nicht sowohl um das Gas von beigemengtem Wasserdampf zu befreien (der auf die Ausdehnung des Gases keinen Einfluss hätte), als vielmehr um jede Spur von Feuchtigkeit von der Oberfläche des Gases fortzuschaffen, da diese bei Erhöhung der Temperatur verdampfen und folglich das Gasvolum vermehren würde.

Aus der auf die eine oder andere Weise beobachteten scheinbaren Ausdehnung des Gases ergibt sich die wahre, wenn man die Berichtigung wegen der Ausdehnung des Glases anbringt. Dies setzt voraus, dass man die Ausdehnung des Glases kenne, und zwar des zum Versuche angewandten, da jede Glasmasse von der andern in dieser Beziehung etwas abweicht. Die Ausdehnung des Glases kann man aber bequem nicht füglich anders finden, als das man darin die scheinbare Ausdehnung des Quecksilbers beobachtet, aus welcher sie sich denn ergibt, wenn man die wahre Ausdehnung dieses Metalles kennt ††).

*) Ann. de chimie T. XLIII, p. 137 u. Biot, Traité de physique T. I, p. 183.

**) Pogg. Ann. Bd. 41, S. 271 u. 558.

***) Pogg. Ann. Bd. 44, S. 119.

†) Eine dritte Art von Messung besteht in der Bestimmung des specif. Gewichts, also der Wägung einer unter einem constanten Druck bei verschiedener Temperatur mit Gas gefüllten Kugel. Diese Methode gestattet aber bei hohen Temperaturen schwerlich eine große Genauigkeit. Endlich kann auch die Ausdehnung der Gase auf indirecten Wegen durch ihren Einfluss auf andere Erscheinungen gefunden werden, freilich auch nur angenähert; so z. B. die der atmosphärischen Luft durch ihren Einfluss auf die atmosphärische Strahlenbrechung, das barometrische Höhenmessen, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls, so wie die der Gase durch ihre Abänderung der Tonhöhe einer Pfeife u. s. w.

††) Die scheinbare Ausdehnung eines gasförmigen oder flüssigen Körpers in

Sonach findet man die wahre Ausdehnung der Gase nicht anders, als wenn schon die wahren Ausdehnungen des Glases und des Quecksilbers bekannt sind.

Dulong und Petit haben einen Versuch angestellt *), aus welchem alle drei Gröfsen zugleich mit großer Genauigkeit gefunden werden können. Bei diesem Versuch befindet sich Quecksilber in zwei senkrechten und weiten Glasröhren, die oben offen und unten durch eine engere horizontale Röhre verbunden sind. Die senkrechten Schenkel dieses Systems sind umgeben von Gefäfsen, in denen sie mittelst einer Flüssigkeit (Oel) auf beliebige Temperaturen gebracht werden können. So lange beide Schenkel gleiche Temperatur haben, steht in ihnen das Quecksilber natürlich gleich hoch; sowie man aber den einen erwärmt, verlängert sich die darin befindliche Quecksilbersäule, und zwar nach einem hydrostatischen Satze, so, dass ihre Länge sich zur Länge der andern Säule, der sie das Gleichgewicht halten muss, verhält umgekehrt wie die specifischen Gewichte des Quecksilbers bei beiden Temperaturen. Bei dem erwähnten Versuch wird die eine Quecksilbersäule beständig in der Temperatur des schmelzenden Eises erhalten, die andere aber auf die Siedhitze des Wassers oder, allgemein, auf irgend eine höhere Temperatur gebracht, und dann langsam auf den Gefrierpunkt des Wassers erkalten gelassen. Zugleich sind, neben dieser Säule, so dass sie gleiche Temperatur mit ihr erhalten müssen, ein Luft- und ein Quecksilberthermometer in die Flüssigkeit getaucht. Das Luftthermometer hat einen cylindrischen Behälter, dessen Hals, eine engere Röhre, erstlich horizontal und dann, ausserhalb des Ofens, so weit herabgebogen ist, um mit der Mündung in eine Schale Quecksilber getaucht werden zu können. Bei der Siedhitze ist es ganz mit Luft (oder sonst einem Gase) erfüllt, beim Erkalten aber nimmt es, da man dann die Spitze in das Quecksilber taucht, so viel von diesem Metalle auf, als der Zusammenziehung der Luft entspricht, die übrigens, in dem Maafse als das Quecksilber aufsteigt, unter einen geringeren Druck als den der Atmosphäre versetzt wird. Das Quecksilberthermometer ist ein Gewichtsthermometer, nämlich ein cylindrisches Gefäfs mit kurzem herabgebogenen Halse, der mit seiner capillaren Spitze in ein Schälchen Quecksilber

einem Gefäfs ist der Unterschied der scheinbaren Volume, die er in diesem Gefäfs bei zwei verschiedenen Temperaturen einnimmt. Und die scheinbaren Volume dieses Körpers sind gleich seinen wahren, dividirt durch die wahren Volume des Gefäfses. Sind also z. B. bei zwei verschiedenen Temperaturen die wahren Volume einer Flüssigkeit $1 + A'$ und $1 + A''$, ihre scheinbaren V' und V'' , und die wahren Volume des Gefäfses $1 + \delta'$ und $1 + \delta''$, so hat man:

$$1 + A' = V' (1 + \delta'); \quad 1 + A'' = V'' (1 + \delta'').$$

Von der Richtigkeit dieser Gleichungen überzeugt man sich leicht, wenn man erwägt, dass das wahre Volum der Flüssigkeit gleich seyn muss derjenigen Anzahl von den kubischen Abtheilungen des Gefäfses, die es erfüllt, multiplicirt mit deren Gröfse, und dass diese Gröfse ebenso mit der Temperatur wachsen, also, wenn sie bei Nullgrad gleich Eins gesetzt ist, ebenso bei anderen Temperaturen durch $1 + \delta'$, und $1 + \delta''$ vorgestellt werden muss, wie es mit dem Volum des ganzen Körpers der Fall ist. Das scheinbare Volum der Flüssigkeit ist weiter nichts als die Anzahl jener kubischen Abtheilungen, unter Voraussetzung, dass ihre Gröfse unverändert geblieben.

Für die scheinbare Ausdehnung $V'' - V'$ erhält man hiernach den Ausdruck

$$V'' - V' = \frac{1 + A''}{1 + \delta''} - \frac{1 + A'}{1 + \delta'}$$

was das im Text Gesagte verständlicher machen wird.

*) Ann. de chim. et de phys. T. II, p. 240; T. VII, p. 124.

taucht. Es wird dadurch fortwährend mit diesem Metall gefüllt erhalten und giebt durch das Gewicht desselben die Temperatur an.

Das Beobachtungsverfahren bei diesem Apparat ist folgendes. Sobald das Quecksilber in dem einen Schenkel der grossen Glasröhre die Siedhitze des Wassers oder, allgemein, die höchste Temperatur, die man ihm geben will, erreicht hat, misst man die Länge seiner Säule, taucht die Spitze des Luftthermometers in Quecksilber, und wägt das Quecksilberthermometer. Nachdem das Quecksilber in demselben Schenkel auf 0° oder die niedere Temperatur des anderen Schenkels erkaltet ist, misst man wiederum die Höhe seiner Säule, beobachtet am Luftthermometer erstlich die Höhe der aufgestiegenen Quecksilbersäule, und dann das von der Luft eingenommene Volum im Verhältniss zum Volum des ganzen Behälters (wozu dieser natürlich zuvor ausgemessen seyn muss) und endlich wägt man wiederum das Quecksilberthermometer mit seinem Inhalt.

Dies vorausgeschickt, werden also bei dem Versuche folgende drei Dinge bestimmt *):

1) Die Länge h'' einer auf die höhere Temperatur t'' gebrachten Quecksilbersäule, welche einer constant in der niederen Temperatur t' erhaltenen Säule desselben Metalls von der Länge h , das Gleichgewicht hält.

Diese Längen oder Höhen verhalten sich umgekehrt wie die specif. Gewichte des Quecksilbers oder geradezu wie die Volume $1 + \Delta''$ und $1 + \Delta'$ einer beim Schmelzpunkt des Eises das Volum Eins füllenden Masse Quecksilber bei den Temperaturen t'' und t' . Man hat also:

$$\frac{h''}{h} = \frac{1 + \Delta''}{1 + \Delta'} \quad \dots \dots \dots (1)$$

2) Die Volume einer in ein Gefäss eingeschlossenen Luftmasse bei den Temperaturen t'' und t' , und unter den Drucken b'' und b' (wo b'' den Druck der Atmosphäre und b' diesen, vermindert um den Druck der aufgestiegenen Quecksilbersäule, bezeichnet).

Fasst das Gefäss bei den Temperaturen t'' und t' die Volume V'' und V' , und sind, bei denselben Temperaturen, $1 + \delta''$ und $1 + \delta'$ die Volume einer beim Schmelzpunkt des Eises das Volum Eins einnehmenden Glasmasse, so ist $V'' : V' = 1 + \delta'' : 1 + \delta'$.

Bei der höheren Temperatur t'' füllt die Luft das Volum V'' des offenen Gefässes gänzlich, unter dem Druck b'' ; bei der niederen Temperatur t' , bei der die Spitze des Gefässes in Quecksilber getaucht ist, füllt sie vom Gefäss nur das Volum $n V'$ unter dem Druck b' . Sind nun, in den Temperaturen t'' und t' und unter einem constanten Druck $1 + \alpha''$ und $1 + \alpha'$ die Volume einer Luftmasse, die beim Schmelzpunkt des Eises das Volum Eins einnimmt, so ist $V'' : n V' = \frac{1 + \alpha''}{b''} : \frac{1 + \alpha'}{b'}$

Aus dieser und der vorhergehenden Proportion ergibt sich:

$$n \cdot \frac{b'}{b''} = \frac{1 + \delta''}{1 + \delta'} \cdot \frac{1 + \alpha''}{1 + \alpha'} \quad \dots \dots \dots (2)$$

3) Werden gewägt die Quecksilbermengen p'' und p' , welche ein Glasgefäss bei den Temperaturen t'' und t' gänzlich füllen.

*) Zu bemerken ist hier, dass in dem Folgenden das Wort Temperatur nur ideell die Wärme-Intensität bezeichnet, ganz abgesehen von ihrer experimentellen Bestimmung.

Die Volume V'' und V' des Glasgefäßes bei den Temperaturen t'' und t' sind auch die des füllenden Quecksilbers. Um aus diesen Volumen die Gewichte des Quecksilbers zu finden, muss man sie mit den specifischen Gewichten desselben bei den nämlichen Temperaturen multipliciren. Wenn aber das specifische Gewicht des Quecksilbers beim Schmelzpunkt des Eises gleich Eins gesetzt ist, so ist es bei den Temperaturen t'' und t' respective

$\frac{1}{1 + \Delta r''}$ und $\frac{1}{1 + \Delta r'}$. Folglich sind die Gewichte p'' und p' respective $\frac{V''}{1 + \Delta r''}$ und $\frac{V'}{1 + \Delta r'}$, mithin da $V'' : V' = 1 + \delta r'' : 1 + \delta r'$, das Verhältniss:

$$\frac{p''}{p'} = \frac{1 + \delta r''}{1 + \delta r'} \cdot \frac{1 + \Delta r'}{1 + \Delta r''} \quad (3)$$

Aus diesen drei Gleichungen ergibt sich nun Folgendes:

Das Verhältniss der Volume, welche eine Quecksilbermasse bei den Temperaturen t'' und t' einnimmt, hat man durch die Gleichung (1)

$$\frac{1 + \Delta r''}{1 + \Delta r'} = \frac{h''}{h'}$$

Das Verhältniss der Volume, welche eine Glasmasse bei den Temperaturen t'' und t' einnimmt, ergibt sich aus (1) und (3):

$$\frac{1 + \delta r''}{1 + \delta r'} = \frac{p''}{p'} \cdot \frac{h''}{h'} \quad (4)$$

Und das Verhältniss der Volume, welche eine Luftmasse bei den Temperaturen t'' und t' einnimmt, findet sich aus (2) und (4).

$$\frac{1 + \alpha r''}{1 + \alpha r'} = \frac{1}{n} \cdot \frac{b''}{b'} \cdot \frac{p''}{p'} \cdot \frac{h''}{h'} \quad (5)$$

Auf diese Weise finden sich, da alle Gröfsen rechts von dem Gleichheitszeichen durch die Beobachtung gegeben sind, die zusammengehörigen oder entsprechenden Werthe der wahren Volume des Quecksilbers, des Glases und der Luft, und wenn die Anwüchse des Luftvolums den Temperaturgraden proportional gesetzt werden, so hat man damit auch die diesen Graden entsprechenden wahren Ausdehnungen des Quecksilbers und des Glases.

Was speciell die wahre Ausdehnung der Luft zwischen den Temperaturen des schmelzenden Eises und des siedenden Wassers, d. h. zwischen $t' = 0^\circ$ und $t'' = 100^\circ$, betrifft, so ergibt sich diese, wenn man in der Formel (5) den Volumanzuwuchs $\alpha r'$ gleich Null macht, weil er für $t' = 0^\circ$ verschwindet, und alsdann die den Temperaturen 0° und 100° entsprechenden Werthe von b , p und h durch Anhängung der Indices 0 und 100 bezeichnet. So erhält man für das wahre Volum der Luft bei 100° , das bei 0° gleich Eins gesetzt, den Ausdruck:

$$1 + \alpha_{100} = \frac{1}{n} \cdot \frac{b_{100}}{b_0} \cdot \frac{p_{100}}{p_0} \cdot \frac{h_{100}}{h_0}$$

wobei die Luft sowohl bei 100° als bei 0° unter dem Druck b_{100} , d. h. in beiden Fällen unter einem gleichen Drucke stehend gedacht ist *).

*) Der Druck b_{100} ist gegeben durch den Barometerstand zur Zeit, da das Quecksilber in dem einen Schenkel die Temperatur 100° besitzt. Der Druck b_0 dagegen ist gleich demselben Barometerstand, weniger der Höhe der bei 0° in das Luftthermometer getretenen Quecksilbersäule (vorausgesetzt, dass der Luftdruck sich unterdess nicht geändert habe). Um sich von jeder thermo-

Das eben angezeigte Verfahren ist unzweifelhaft das einfachste und rationellste, um aus dem Dulong-Petit'schen Versuch richtige Resultate herzuleiten. Die Urheber dieses berühmten Versuchs haben einen umständlicheren und weniger genauen Weg der Rechnung eingeschlagen, weshalb auch ihre Resultate mit kleinen Fehlern behaftet sind, von denen man sie leider nicht befreien kann, da das Detail ihrer Messungen nicht veröffentlicht worden ist.

Aus dem Obigen erhellt zur Genüge, in welcher Abhängigkeit die Bestimmung der Ausdehnbarkeit der Gase, bei den meisten Messungen, von der des Glases und des Quecksilbers steht. Von der des Quecksilbers kann man sie zwar unabhängig machen, wenn man das von Gay-Lussas befolgte Verfahren anwendet, und die des Glases durch directe Messungen von Glasstäben bei 0° und 100° ermittelt, allein dadurch macht man sich nur wiederum abhängig von der Ausdehnung anderer Substanzen, die als Maafsstäbe angewandt werden. Bei dem genaueren Verfahren, welches Rudberg anwandte, wurde die scheinbare Ausdehnung des Quecksilbers in Glas beobachtet und dann mittelst der wahren Ausdehnung dieses Metalls, wie sie von Dulong und Petit (freilich nicht mit aller Strenge) ermittelt worden, die wahre Ausdehnung des Glases berechnet.

Ueber die Gleichheit der Ausdehnung aller Gase und ihre Gleichförmigkeit mit der Temperatur sind alle neueren Beobachter einig, nur über ihre Gröfse könnte noch eine Discussion erhoben werden. Die ältern, meist mit atmosphärischer Luft erhaltenen Angaben weichen in diesem Punkt bedeutend ab. So fanden für die Ausdehnung der Luft von 0° bis 100° C., das Volum bei 0° gleich Eins gesetzt:

Bradley	0,4297	Tob. Mayer jun.	0,3770
Bonne	0,3768	Lambert	0,3540 bis 0,3760
Lacaille	0,3159	Le Roy	0,4840
Deluc	0,3712 bis 0,3880	Schmidt	0,3570 bis 0,3928
Shuckburgh	0,3989	Luz	0,3775
Tob. Mayer sen.	0,3633	Dalton	0,3912 *)

u. s. w.

Die Verschiedenheiten dieser Angaben beruhen wohl theils in der Ungenauigkeit der Messung überhaupt oder der angewandten Thermometer, theils in der nicht völligen Austrocknung der die Luft einschliessenden Gefässe, theils in falscher oder ganz unterlassener Berichtigung wegen Ausdehnung des Glases, u. s. w.; auch sind mehre Bestimmungen nur indirect aus andern von der Ausdehnung der Luft bedingten Erscheinungen abgeleitet, so die von Bradley und Tob. Mayer sen. aus der astronomischen Strahlenbrechung, die von De Luc aus Barometermessungen, die von Bonne aus den Angaben des Manometers u. s. w. Sie alle verdienen heut zu Tage wenig Beachtung.

metrischen Bestimmung unabhängig zu machen, müsste das Quecksilber im Barometer auf die Temperatur des schmelzenden Eises erhalten werden.

*) Gewöhnlich wird angegeben, Dalton habe die Zahl 0,376 gefunden. Dies ist aber, wie schon Gilbert (dessen Ann. Bd. 14, S. 267) und später Rudberg (Pogg. Ann. Bd. 44, S. 122) gezeigt, ein Irrthum. Dalton's Angabe bezieht sich auf die Ausdehnung der Luft von 55° F. ($12^{\circ},78$ C.) bis 212° F. (100° C.); reducirt auf das Intervall von 0° bis 100° C., giebt sie die Zahl 0,3912.

Dagegen hat man bisher dem von Gay-Lussac bestimmten Werth für die Ausdehnung von 0° bis 100° C., nämlich

$$0,375 \text{ oder } \frac{5}{8}$$

des Volums bei 0° unbedingtes Zutrauen geschenkt, und noch gegenwärtig wird er allgemein in Frankreich und England angewandt.

Die neueren, mit aller Sorgfalt angestellten, und was von Gay-Lussac nicht geschehen, mit allem Detail veröffentlichten Messungen von Rudberg haben indess eine nicht unbedeutend geringere Ausdehnbarkeit ergeben. 24 Versuche, zur Hälfte nach der ersten, zur Hälfte nach der zweiten der S. 605 erwähnten Methoden angestellt, liefern nämlich folgenden Werth für die Ausdehnung von 0° bis 100° eines bei 0° zur Einheit angenommenen Luftvolums:

Methode I.	Methode II.
Maximum 0,3655	Maximum 0,3656
Minimum 0,3636	Minimum 0,3640
Medium 0,36465	Medium 0,36457

Bei allen diesen Messungen war die Luft, oder vielmehr das sie enthaltende Glasgefäß, aufs sorgfältigste durch Chlorcalcium getrocknet worden. Zwei Versuche, absichtlich mit einer nicht getrockneten Glaskugel angestellt, auf deren Oberfläche jedoch selbst mit der Lupe kein sichtbarer Wasserniederschlag zu bemerken war, ergaben die Coëfficienten: 0,3843 und 0,3902. Wenn man bedenkt, wie hygroskopisch ein jedes Glas ist, wie gering die Menge der Feuchtigkeit auf seiner Oberfläche zu seyn braucht, um, durch ihre Verdampfung in höherer Temperatur, das Luftvolum um 0,01 zu vergrößern*), und dass endlich keine Fehlerquelle vorhanden ist, welche die Ausdehnbarkeit der Luft bei Rudberg's Versuchen hätte verringern können, so kann man wohl nicht anstehen, diese für die richtigeren und die Gay-Lussac'sche Bestimmung für zu groß zu erklären, vielleicht eben wegen unvollständiger Austrocknung des Glasgefäßes.

Als Endresultat für die wahre Ausdehnung eines Luftvolums, welches bei 0° gleich Eins ist, ergibt sich nun nach Rudberg

$$\begin{aligned} \text{von } 0^\circ \text{ bis } 100^\circ \text{ C.} & \quad 0,365 \\ \text{für einen Centesimalgrad} & \quad 0,00365 = \frac{1}{274} \\ \text{„ „ Reaumur'schen Grad} & \quad 0,00456 = \frac{1}{219} \end{aligned}$$

Wenn also eine Luftmasse bei 0° das Volum V_0 und bei der Temperatur t' (nach der hunderttheiligen Skale gemessen) das Volum V' erfüllt, so ist zufolge dieser Bestimmung und der angenommenen Gleichförmigkeit der Ausdehnung mit der Temperatur

$$V' = V_0 (1 + 0,00365 t') \quad (1)$$

Für das Volum V'' , welches sie bei einer andern Temperatur t'' erfüllt, hat man ebenso:

$$V'' = V_0 (1 + 0,00365 t'')$$

folglich, wenn man das Volum V'' durch V' ausdrücken will:

*) Die dem Glase anhängende und in höherer Temperatur verdampfende Feuchtigkeitsschicht ist ohne Zweifel Ursache, dass verschiedene Physiker die Ausdehnung feuchter Gase, so wie die der Dämpfe, größer fanden, als die eines trocknen Gases.

$$V'' = V' \frac{(1 + 0,00365 t'')}{(1 + 0,00365 t')}$$

woraus zu ersehen, dass der Coëfficient der Ausdehnung von der Ausgangstemperatur abhängt und um so kleiner wird, je höher man diese wählt. Der Coëfficient $(1 + 0,00365 t)$ gilt daher nur, wenn man die Ausdehnung, sowie die Centesimaltemperatur t , von 0° oder dem Schmelzpunkt des Eises anrechnet.

Da Reductionen von Luft- oder Gasvolumen häufig in der Praxis vorkommen, und man diese, nach der Formel (1), am leichtesten mittelst logarithmischer Rechnung vollzieht, so geben wir in folgender Tafel die $\text{Log.}(1 + 0,00365 t)$ für Grade des hunderttheiligen Thermometers von 0° bis 299° . Für Grade unter 0° hat man das auf 0° zu reducirende Gasvolum, statt mit $(1 + 0,00365 t)$ zu dividiren, zu multipliciren oder den Logarithmus von $(1 + 0,00365 t)$ zum Logarithmus des Luftvolums zu addiren. Kürze halber ist die Zahl 0,00365 mit α bezeichnet.

Wahre Ausdehnung der Gase. $\alpha = 0,00365$.

t C°	Log (1+ αt)	Diff.	t C°	Log (1+ αt)	Diff.	t C°	Log (1+ αt)	Diff.	t C°	Log (1+ αt)	Diff.	t C°	Log (1+ αt)	Diff.
0	0,00000		40	0,05918	138	80	0,11126	123	120	0,15776	110	160	0,19975	100
1	0,00158	158	41	0,06056	138	81	0,11249	123	121	0,15886	110	161	0,20075	100
2	0,00316	158	42	0,06194	138	82	0,11371	122	122	0,15996	110	162	0,20175	100
3	0,00473	157	43	0,06331	137	83	0,11493	122	123	0,16105	109	163	0,20275	100
4	0,00629	156	44	0,06468	137	84	0,11614	121	124	0,16215	110	164	0,20374	99
5	0,00785	156	45	0,06605	137	85	0,11735	121	125	0,16324	109	165	0,20473	99
6	0,00941	156	46	0,06741	136	86	0,11856	121	126	0,16432	108	166	0,20572	99
7	0,01096	155	47	0,06876	135	87	0,11977	121	127	0,16541	109	167	0,20670	98
8	0,01250	154	48	0,07011	135	88	0,12097	120	128	0,16649	108	168	0,20769	99
9	0,01404	154	49	0,07146	135	89	0,12217	120	129	0,16757	108	169	0,20867	98
10	0,01557	153	50	0,07280	134	90	0,12336	119	130	0,16864	107	170	0,20965	98
11	0,01710	153	51	0,07414	134	91	0,12455	119	131	0,16972	108	171	0,21063	98
12	0,01862	152	52	0,07547	133	92	0,12574	119	132	0,17079	107	172	0,21160	97
13	0,02013	152	53	0,07680	133	93	0,12693	119	133	0,17186	107	173	0,21257	97
14	0,02164	151	54	0,07813	133	94	0,12811	118	134	0,17292	106	174	0,21354	97
15	0,02315	151	55	0,07945	132	95	0,12929	118	135	0,17399	107	175	0,21451	97
16	0,02465	150	56	0,08077	132	96	0,13046	117	136	0,17505	106	176	0,21548	97
17	0,02615	150	57	0,08209	132	97	0,13163	117	137	0,17611	106	177	0,21644	96
18	0,02764	149	58	0,08340	131	98	0,13280	117	138	0,17716	105	178	0,21740	96
19	0,02912	148	59	0,08470	130	99	0,13397	117	139	0,17821	105	179	0,21836	96
20	0,03060	148	60	0,08600	130	100	0,13513	116	140	0,17926	105	180	0,21932	96
21	0,03207	147	61	0,08730	130	101	0,13629	116	141	0,18031	105	181	0,22028	96
22	0,03354	147	62	0,08860	130	102	0,13745	116	142	0,18136	105	182	0,22123	95
23	0,03501	147	63	0,08989	129	103	0,13860	115	143	0,18240	104	183	0,22218	95
24	0,03647	146	64	0,09117	128	104	0,13975	115	144	0,18344	104	184	0,22313	95
25	0,03792	145	65	0,09246	129	105	0,14090	115	145	0,18448	104	185	0,22408	95
26	0,03937	145	66	0,09374	128	106	0,14205	115	146	0,18551	103	186	0,22502	94
27	0,04082	145	67	0,09501	127	107	0,14319	114	147	0,18655	104	187	0,22597	95
28	0,04226	144	68	0,09628	127	108	0,14433	114	148	0,18758	103	188	0,22691	94
29	0,04370	144	69	0,09755	127	109	0,14546	113	149	0,18861	103	189	0,22785	94
30	0,04513	143	70	0,09882	127	110	0,14659	113	150	0,18963	102	190	0,22879	94
31	0,04655	142	71	0,10008	126	111	0,14772	113	151	0,19065	102	191	0,22972	93
32	0,04798	143	72	0,10133	125	112	0,14885	113	152	0,19167	102	192	0,23065	93
33	0,04939	141	73	0,10259	126	113	0,14997	112	153	0,19269	102	193	0,23158	93
34	0,05080	141	74	0,10384	125	114	0,15109	112	154	0,19371	102	194	0,23251	93
35	0,05222	142	75	0,10508	124	115	0,15221	112	155	0,19472	101	195	0,23344	93
36	0,05362	140	76	0,10633	125	116	0,15333	112	156	0,19573	101	196	0,23437	93
37	0,05502	140	77	0,10757	124	117	0,15444	111	157	0,19674	101	197	0,23529	92
38	0,05641	139	78	0,10880	123	118	0,15555	111	158	0,19775	101	198	0,23621	92
39	0,05780	139	79	0,11003	123	119	0,15666	111	159	0,19875	100	199	0,23713	92

<i>t.</i> C.	<i>Log</i> (1+ <i>at</i>)	Diff.	<i>t.</i> C°	<i>Lgo</i> (1+ <i>at</i>)	Diff.	<i>t.</i> C°	<i>Log</i> (1+ <i>at</i>)	Diff.	<i>t.</i> C°	<i>Log</i> (1+ <i>at</i>)	Diff.	<i>t.</i> C°	<i>Log</i> (1+ <i>at</i>)	Diff.
200	0,23805	92	220	0,25600	88	240	0,27323	84	260	0,28981	81	280	0,30578	78
201	0,23896	91	221	0,25687	87	241	0,27408	85	261	0,29062	81	281	0,30656	78
202	0,23987	91	222	0,25775	88	242	0,27492	84	262	0,29144	82	282	0,30735	79
203	0,24079	92	223	0,25863	88	243	0,27576	84	263	0,29225	81	283	0,30813	78
204	0,24170	91	224	0,25950	87	244	0,27660	84	264	0,29305	80	284	0,30891	78
205	0,24260	90	225	0,26037	87	245	0,27744	84	265	0,29386	81	285	0,30968	77
206	0,24351	91	226	0,26124	87	246	0,27827	83	266	0,29466	80	286	0,31046	78
207	0,24441	90	227	0,26211	87	247	0,27911	84	267	0,29547	81	287	0,31123	77
208	0,24532	91	228	0,26297	86	248	0,27994	83	268	0,29627	80	288	0,31201	78
209	0,24622	90	229	0,26384	87	249	0,28077	83	269	0,29707	80	289	0,31278	77
210	0,24711	89	230	0,26470	86	250	0,28160	83	270	0,29787	80	290	0,31355	77
211	0,24801	90	231	0,26556	86	251	0,28243	83	271	0,29867	80	291	0,31432	77
212	0,24890	89	232	0,26642	86	252	0,28326	83	272	0,29946	79	292	0,31509	77
213	0,24980	90	233	0,26727	85	253	0,28408	82	273	0,30026	80	293	0,31586	77
214	0,25069	89	234	0,26813	86	254	0,28490	82	274	0,30105	79	294	0,31662	76
215	0,25158	89	235	0,26899	86	255	0,28573	83	275	0,30184	79	295	0,31738	76
216	0,25246	88	236	0,26984	85	256	0,28655	82	276	0,30263	79	296	0,31815	77
217	0,25335	89	237	0,27069	85	257	0,28737	82	277	0,30342	79	297	0,31891	76
218	0,25423	88	238	0,27154	85	258	0,28818	81	278	0,30421	79	298	0,31967	76
219	0,25512	89	239	0,27239	85	259	0,28900	82	279	0,30500	79	299	0,32043	76

2. Ausdehnung der flüssigen Körper.

Als allgemeines Resultat der bisherigen Untersuchungen über die Ausdehnung der Flüssigkeiten hat sich ergeben: dass sie erstlich nach der Natur der Flüssigkeiten verschieden ist, und dann, wenn die Luft als gleichförmig angesehen wird, keinen gleichförmigen Gang mit der Temperatur befolgt, vielmehr im Allgemeinen wächst so wie die Temperatur steigt, und zwar um so mehr wächst, je mehr sich die Temperatur dem Siedpunkt der Flüssigkeit nähert. Flüssigkeiten von sehr hohem Siedpunkt befolgen in der Regel in niederen Temperaturen einen der Gleichförmigkeit nahe kommenden Gang in ihrer Ausdehnung. Ein allgemeines Gesetz für die Ausdehnung der Flüssigkeiten ist bisher noch nicht aufgefunden, und dürfte auch wohl schwierig aufzufinden seyn, da hier die Wirkung der Wärme durch Gegenwirkung der Cohäsionskräfte sehr verwickelt wird.

Die Methoden, deren man sich zur Bestimmung der Ausdehnung der Flüssigkeiten bedient hat, sind so ziemlich dieselben, welche schon bei den Gasen angeführt wurden. Die beiden üblichsten bestehen darin, dass man entweder die Volume der Flüssigkeit, in einem thermometerartig gestalteten Glaskörper bei verschiedenen Temperaturen misst oder die Gewichtsmengen bestimmt, die von derselben einen ähnlichen Körper nur mit größerem Behälter und capillar auslaufendem Hals bei verschiedenen Temperaturen ganz erfüllen. Bei beiden Methoden kann man sowohl von der niederen zur hohen Temperatur übergehen, als den umgekehrten Gang befolgen, in welchem letzteren Falle man denn eigentlich die Zusammenziehungen misst. Zwei andere Methoden sind hydrostatischer Natur. Nach der einen bestimmt man, entweder mittelst des Aräometers, oder besser mittelst der Wage, die specifischen Gewichte der Flüssigkeit bei verschiedenen Temperaturen, da diese Gewichte sich umgekehrt wie die Volume verhalten; nach der zweiten, deren schon S. 608 gedacht wurde, misst man die Höhen zweier Säulen derselben Flüssigkeit, die in einer U-förmigen Glasröhre bei ungleicher Temperatur einander das Gleichgewicht halten; das Verhältniss dieser Höhen ist auch das der Volume

Durch die drei ersten Methoden erhält man unmittelbar nur die scheinbare Ausdehnung einer Flüssigkeit (S. 606 Anmerk.). Um die wahre Ausdehnung derselben zu bekommen, bedarf es noch, wie bei den Gasen, einer Berichtigung wegen der Ausdehnung des festen Körpers der zum Behälter der Flüssigkeit oder zur hydrostatischen Wägung diene.

Genau angenommen, bedarf man sogar noch der wahren Ausdehnung des Quecksilbers und der Luft oder wenigstens der letzteren. Denn, da die Flüssigkeiten sich nicht gleichförmig ausdehnen, man sich also zur Bestimmung ihrer Ausdehnbarkeit nicht auf solche feste Punkte, wie der Gefrier- und Siedpunkt des Wassers sind, beschränken kann, so hat man zur Temperaturbestimmung noch ein Thermometer nöthig. Dies könnte nur ein Quecksilber- oder Luftthermometer seyn. Beide geben aber, strenge genommen, die Temperatur nicht unmittelbar an, sondern erst nach einer Rechnung, zu deren Ausführung die Kenntniss der wahren Ausdehnung des Glases, des Quecksilbers und der Luft erforderlich ist. Selbst die vierte Methode, die von Dulong und Petit angewandte, giebt sonach für andere Temperaturen als der Gefrier- und Siedpunkt des Wassers die Ausdehnung der Flüssigkeiten nicht unabhängig von der dieser Körper an.

Um dieses zu verdeutlichen, sey folgendes bemerkt. Der Grad eines z. B. 100theiligen Thermometers bei der Temperatur t ist offenbar gleich der scheinbaren Ausdehnung (S. 606, Anmerk. ††) der thermometrischen Flüssigkeit der Temperatur bei t° , dividirt durch die bei der Temperatur 100° und multiplicirt mit der Zahl 100. Bezeichnet man also die scheinbaren Volume der thermometrischen Flüssigkeit bei den Temperaturen 0° , t° , 100° respective mit V_0 , V_t , V_{100} , so ist der Ausdruck für den Thermometergrad bei der Temperatur t :

$$\frac{V_t - V_0}{V_{100} - V_0} \cdot 100$$

Die scheinbaren Volume einer Flüssigkeit sind aber, wie S. 606 (Anmerk. ††) gezeigt, gleich den wahren, dividirt durch die wahren Volume der thermometrischen Hülle, also des Glases. Sind nun die wahren Volume bei den Temperaturen 0° , t , 100° respective 1 , $1 + \Delta_t$, $1 + \Delta_{100}$ für Quecksilber, 1 , $1 + \alpha_t$, $1 + \alpha_{100}$ für Luft und 1 , $1 + \delta_t$, $1 + \delta_{100}$ für Glas, und setzt man überdies das scheinbare Volum V_0 auch gleich Eins, so hat man, nach Substitution dieser Größen in dem obigen Ausdruck.

Für den Grad q_t eines hunderttheiligen Quecksilberthermometers

$$q_t = \frac{\Delta_t - \delta_t}{\Delta_{100} - \delta_{100}} \cdot \frac{1 + \delta_{100}}{1 + \delta_t} \cdot 100 \quad (1)$$

und für den Grad l_t eines hunderttheiligen Luftthermometers (worin die Luft immer unter constantem Druck bleibt)

$$l_t = \frac{\alpha_t - \delta_t}{\alpha_{100} - \delta_{100}} \cdot \frac{1 + \delta_{100}}{1 + \delta_t} \cdot 100 \quad (2)$$

oder wenn man zur Vereinfachung annimmt (was für Temperaturen, die nicht weit über 100° hinausgehen, erlaubt ist), dass die wahre Ausdehnung des Glases sowohl der des Quecksilbers als auch diese beiden Ausdehnungen der wahren Ausdehnung der Luft oder der Temperatur proportional seyen, d. h. sowohl $\delta_t = n \Delta_t$ und $\delta_{100} = n \Delta_{100}$ als auch $\delta_t = m \alpha_t$ und $\delta_{100} = m \alpha_{100}$:

$$q_t = \frac{\Delta_t}{\Delta_{100}} \cdot \frac{1 + \delta_{100}}{1 + \delta_t} \cdot 100 \text{ und } l_t = \frac{\alpha_t}{\alpha_{100}} \cdot \frac{1 + \delta_{100}}{1 + \delta_t} \cdot 100 \quad (3)$$

Da die wahren Temperaturgrade der 100theiligen Skale, nach dem früher Gesagten zum Ausdruck gaben:

$$\frac{\alpha_t}{\alpha_{100}} \cdot 100$$

so ersieht man, dass man, strenge genommen, weder mit dem Quecksilberthermometer, noch mit dem Luftthermometer unmittelbar die Temperaturgrade beobachten kann, sondern sie erst aus den Angaben dieser Instrumente durch eine Rechnung zu finden im Stande ist, zu der man die wahre Ausdehnung des Quecksilbers, des Glases und der Luft kennen muss.

Die Bestimmung der Ausdehnbarkeit flüssiger Körper ist also, abgerechnet alle sonstigen Schwierigkeiten, in der Ausführung, wenn sie den letzten Grad von Schärfe haben soll, eine etwas verwickelte Aufgabe, deren Lösung viele Geschicklichkeit und genaue Instrumente erfordert. Man darf wohl behaupten, dass sie in dieser Schärfe bisher noch bei keiner Flüssigkeit gelöst worden sey.

Am genauesten ist die Ausdehnung des Quecksilbers und die des Wassers untersucht, weil beide für andere physikalische Aufgaben von großer Wichtigkeit sind, z. B. erstere für die Berichtigung der Barometerstände und letztere zur genauen Bestimmung absoluter und specifischer Gewichte.

Die Ausdehnung des Quecksilbers ist am sorgfältigsten von Dulong und Petit untersucht *), aber ihre Resultate sind nicht so genau, wie sie es nach dem angewandten Verfahren, welches das S. 608 beschriebene war, hätten seyn können. Statt nämlich ihre Resultate von jeder anderen Angabe unabhängig zu machen, was nach der S. 609 auseinandergesetzten Rechnung hätte geschehen können, stützten sie dieselbe auf Gay-Lussac's Bestimmung der Ausdehnung der Luft. Aus den Angaben des Luftthermometers leiteten sie nämlich die Temperatur mittelst des Coëfficienten 0,00375 ab, von dem wir jetzt nach Rudberg's Arbeit wohl annehmen dürfen, dass er für trockene Luft (oder richtiger für trockene Luft in einem wohl getrockneten Gefäß) unrichtig ist. Ihre Temperaturen und mithin auch ihre Angaben über die wahre Ausdehnung des Quecksilbers sind nicht ganz richtig, sobald sie, was zu vermuthen ist, ihr Luftthermometer und die Luft darin wohl getrocknet hatten. Leider giebt ihre Abhandlung über diesen letzten Punkt keine Gewissheit, ja es ist selbst zweifelhaft, ob man unter den Temperaturen wahre oder scheinbare Volume der Luft zu verstehen habe. Sind die Temperaturen durch die wahren Volume einer wohlgetrockneten Luftmasse gemessen, so würde ihr Grad 100 etwa dem Grad 102,7 nach richtiger Skale entsprechen und die wahre Ausdehnung für den richtigen Grad 100 würde statt $\frac{1}{5515}$ ungefähr $\frac{1}{57}$ seyn.

Unter diesem Gesichtspunkt hat man folgende Resultate dieser Physiker zu betrachten:

*) Ann. de chim. et de phys. T. VII, p. 120 u. 124.

Temperaturen abgeleitet aus der Ausdehnung der Luft.	Wahre Ausdehnungen des Quecksilbers für 100 Grade *). Mittlere Resultate.	Temperaturen, angezeigt von der als gleichförmig voraus- gesetzten Ausdehnung des Quecksilbers.
0° C.	0°	0° C.
100°	$\frac{1}{55,50}$	100°
200°	$\frac{1}{54,25}$	204°,61
300°	$\frac{1}{53,00}$	314°,15

Auch diesem folgt dann, dass die wahre Ausdehnung des Quecksilbers nicht gleichförmig ist, sondern mit steigender Temperatur wächst, doch aber so langsam, dass man sie zwischen 0° und 100° C. als gleichförmig betrachten kann. Innerhalb dieses Intervalls, kann man also annehmen, beträgt (vorbehaltlich die obenstehende Bemerkung) die wahre Ausdehnung des Quecksilbers für jeden Grad der hunderttheiligen Skale $= \frac{1}{5550}$.

Dulong und Petit haben auch einen Vergleich des Quecksilberthermometers mit dem Luftthermometer angestellt und dabei folgende Resultate erhalten:

Quecksilber- thermometer.	Luftthermometer (berichtigt).	Quecksilber- thermometer.	Luftthermometer (berichtigt).
- 36° C.	- 36° C.	+ 200° C.	+ 197°,05
0	0	250	245,05
+ 100	+ 100	300	292,70
150	148,70	360	350,00

Wohl zu bemerken ist hiebei, dass diese Tafel nicht, was zu bedauern ist, die entsprechenden Stände beider Thermometer enthält, sondern die Beziehung zwischen dem unberichtigten Quecksilberthermometer und dem wegen der Ausdehnung des Glases berichtigten Luftthermometer. Wären die Stände beider Thermometer unberichtigt gegeben, was auch für die Anwendung von gröfserem Nutzen gewesen seyn würde, so hätte man die numerischen Werthe der Relation zwischen den Gröfsen l_i und q_i der Gleichungen (1), (2) und (3) (S. 614).

Für die scheinbare Ausdehnung des Quecksilbers in Glas fanden dieselben Physiker, nach ihren Bestimmungen der Ausdehnung des Glases, folgende Werthe:

*) Aeltere Bestimmungen der Ausdehnung des Quecksilbers zwischen 0° u. 100° ergaben folgende Werthe:

Dalton . . . $\frac{1}{50}$	Le Roy . . . $\frac{1}{59}$	Lavoisier . . . $\frac{1}{54}$
Cavendish . . . $\frac{1}{55}$	Shuckburgh . . . $\frac{1}{54}$	Delisle . . . $\frac{1}{66}$
Deluc . . . $\frac{1}{55}$	Hällström . . . $\frac{1}{55}$	Casbois . . . $\frac{1}{67}$

Luftthermometer (berichtigt.)	Ausdehnung für 100 Grade		Temperatur abgeleitet aus der gleichförmig angenommenen Ausdehnung des Glases.
	scheinbare des Quecksilbers.	wahre des Glases.	
100 C.	$\frac{1}{64,80}$	$\frac{1}{387}$	100°
200	$\frac{1}{63,78}$	$\frac{1}{363}$	213 ,2
300	$\frac{1}{63,18}$	$\frac{1}{329}$	352 ,9

Die Ausdehnung des Wassers. Das Wasser zeigt nicht nur, wie alle Flüssigkeiten, eine ungleichförmige Ausdehnung, sondern überdies die Merkwürdigkeit, dass es einige Grade oberhalb seines Gefrierpunkts seine größte Dichtigkeit besitzt. Wenn es also von einer höheren Temperatur ab bis zum Gefrierpunkt erkaltet, so zieht es sich nicht fortwährend zusammen, sondern dehnt sich, bevor es den letzteren Punkt erreicht, ein wenig wieder aus.

Diese sonderbare Eigenschaft, die schon im 17ten Jahrhundert von den Mitgliedern der *Academia del Cimento* beobachtet wurde, giebt zu der Erscheinung Anlass, dass, wenn man mitten in ein etwa 8 Zoll hohes und 4 Zoll weites, mit warmem Wasser gefülltes Gefäß die Kugeln zweier Thermometer eintaucht, die eine oben, etwa 2 Zoll unterhalb der Wasseroberfläche, die andere unten, etwa 2 Zoll oberhalb des Bodens, alsdann, bei langsamer Erkaltung des Gefäßes in einem Zimmer, dessen Temperatur 1 bis 2° C. beträgt, anfangs das obere, später das untere Thermometer eine höhere Temperatur als das andere zeigt, während bei langsamer Erwärmung des Gefäßes von 1 bis 8° C. aufwärts, das Umgekehrte stattfindet.

So beobachtete Hällström:

Beim Erkalten		Beim Erwärmen	
Lufttemperatur = + 1°,5 C.		Lufttemperatur = + 20° C.	
Unteres Thermometer.	Oberes Thermometer.	Unteres Thermometer.	Oberes Thermometer.
+ 4°,95 C.	+ 6°,19 C.	+ 2°,45 C.	+ 1°,40 C.
4 ,56	5 ,28	2 ,74	2 ,09
4 ,47	4 ,88	3 ,32	2 ,79
4 ,37	4 ,18	3 ,51	3 ,49
4 ,33	3 ,79	3 ,80	5 ,58
3 ,80	3 ,10	4 ,76	6 ,49
3 ,61	2 ,90	5 ,15	6 ,91
3 ,23	2 ,50	5 ,35	7 ,32

Der Vorgang bei dieser Erscheinung, ist folgender. Beim Erkalten werden die Wassertheile an den Seiten des Gefäßes früher als die in der Mitte befindlichen auf die Temperatur der größten Dichtigkeit herabgebracht; sie müssen also, so lange jene mittlichen Wassertheile eine höhere Temperatur, d. h. eine geringe Dichte besitzen, herabfließen und das untere Thermometer erkalten, während das obere durch den gleichzeitig in der Mitte aufsteigenden Strom wärmeren Wassers am Erkalten gehemmt wird. Bei weiterer Erkaltung, unterhalb des Punkts der größ-

ten Dichtigkeit, werden die Seitentheilchen specifisch leichter als die Masse im Innern; sie steigen demnach in die Höhe und bringen so, im Verein mit dem in der Mitte des Gefäßes herabgehenden Strom wärmeren Wassers die umgekehrte Wirkung auf das Thermometer hervor. Bei seitlicher Erwärmung des Gefäßes, von etwa 0° an, ist der Vorgang ein ähnlicher; anfangs steigen die seitlichen Theile hinab, später hinauf; weil sie aber eine höhere Temperatur besitzen als die mittleren Theile, so erwärmen sie anfangs das untere, später das obere Thermometer.

Bei der Temperatur, bei welcher das Wasser die größte Dichtigkeit besitzt, werden natürlich keine solche Strömungen eintreten und daher beide Thermometer einen gleichen Stand annehmen. Die gleiche Temperatur, welche beide alsdann zeigen, wird also (abgesehen von geringen Störungen) die der größten Dichtigkeit des Wassers seyn. Auf diese Weise haben auch Tralles*), Hope**) und Hällström***) die genannte Temperatur zu bestimmen versucht; letzterer hat aus 14 Reihen sorgfältiger Beobachtungen, wie deren zwei so eben beispielshalber angeführt wurden, für diese Temperaturen den Werth = + 4°,004 C. gefunden.

Untersuchungen über den vollständigen Gang der Ausdehnung des Wassers sind in bedeutender Anzahl angestellt, nach der ersten der S. 613 erwähnten Methode von Deluc, Dalton und Muncke, nach der zweiten von Blagden und Gilpin, nach der dritten mittels des Aräometers von Schmidt und Charles, mittelst hydrostatischer Wägung von Lefevre-Gineau, Bischof, Stampfer †) und Hällström ††). Besonders der letzte Physiker ist es, der diese Aufgabe am schärfsten zu bestimmen suchte. Nicht nur, dass er selbst durch Abwägung von Glaskugeln in Wasser von verschiedener Temperatur, von 0° bis 30° C., eine Reihe genauer Data sammelte, sie nach eigenem Versuche über die Ausdehnung der angewandten Glasart sorgfältig berichtete, und dann, zur Elimination der Beobachtungsfehler, nach der mühsamen Methode der kleinsten Quadrate scharf berechnete, hat er später die Arbeiten von Muncke und Stampfer einer ähnlichen Berechnung unterworfen †††), und gezeigt, zu welchen Resultaten dieselben eigentlich führen. Da seine Angaben vorzugsweise auf Beachtung Anspruch machen, so geben wir sie hier zunächst in nachfolgenden Tafeln.

*) Gilb. Ann. Bd. 27, S. 260.

**) Biot, Traité T. I, p. 261.

***) Pogg. Ann. Bd. 9, S. 530.

†) Pogg. Ann. Bd. 21, S. 75.

††) Pogg. Ann. Bd. 1, S. 129.

†††) Pogg. Ann. Bd. 34, S. 240.

Wahre Ausdehnung des Wassers, nach Hällström's Bestimmung *).
Dichtigkeit und Volum bei 0° = 1 gesetzt.

Temperatur.	Dichtigkeit.	Volum.	Temperatur.	Dichtigkeit.	Volum.
0° C.	1,000000	1,000000	15° C.	0,9993731	1,0006273
1	1,0000466	0,999536	16	0,9992340	1,0007666
2	1,0000799	0,999202	17	0,9990832	1,0009176
3	1,0001004	0,998996	18	0,9989207	1,0010805
4	1,00010817	0,9988918	19	0,9987468	1,0012548
4,1	1,00010824	0,99889177	20	0,9985615	1,0014406
5	1,0001032	0,9988968	21	0,9983648	1,0016379
6	1,0000856	0,999144	22	0,9981569	1,0018465
7	1,0000555	0,999445	23	0,9979379	1,0020664
8	1,0000129	0,999872	24	0,9977077	1,0022976
9	0,9999579	1,0000421	25	0,9974666	1,0025398
10	0,9998906	1,0001094	26	0,9972146	1,0027932
11	0,9998112	1,0001888	27	0,9969518	1,0030575
12	0,9997196	1,0002804	28	0,9966783	1,0033328
13	0,9996160	1,0003841	29	0,9963941	1,0036189
14	0,9995005	1,0004997	30	0,9960993	1,0039160

Die in dieser Tafel angegebene Dichtigkeit ist das Resultat der aus den Messungen sich ergebenden Formel:

$$D = 1 + 0,000052939 t - 0,0000065322 t^2 + 0,00000001445 t^3$$

worin D die Dichtigkeit und t die Temperatur nach Centesimalgraden bezeichnet. Die wahrscheinliche Unsicherheit in den Werthen von D ist = 0,0000035. Die Volume sind natürlich die Werthe von $\frac{1}{D}$.

Auch die folgende Tafel beruht auf dieser Gleichung, nur sind dabei das Volum und die Dichtigkeit beim Punkt der größten Dichtigkeit zur Einheit angenommen, weil dies für manche Aufgaben erforderlich ist.

Wahre Ausdehnung des Wassers nach Hällström's Versuchen.
Dichtigkeit und Volum bei 4°,1 C. = 1 gesetzt.

Temperatur.	Dichtigkeit.	Volum.	Temperatur.	Dichtigkeit.	Volum.
0° C.	0,9998918	1,0001082	15° C.	0,9992647	1,0007357
1	0,9999382	1,0000617	16	0,9991260	1,0008747
2	0,9999717	1,0000281	17	0,9989752	1,0010259
3	0,9999920	1,0000078	18	0,9988125	1,0011888
4	0,9999995	1,0000002	19	0,9986387	1,0013631
4,1	1,0000000	1,0000000	20	0,9984534	1,0015490
5	0,9999950	1,0000050	21	0,9982570	1,0017560
6	0,9999772	1,0000226	22	0,9980489	1,0019549
7	0,9999472	1,0000527	23	0,9978300	1,0021746
8	0,9999044	1,0000954	24	0,9976000	1,0024058
9	0,9998497	1,0001501	25	0,9973587	1,0026483
10	0,9997825	1,0002200	26	0,9971070	1,0029016
11	0,9997030	1,0002970	27	0,9968439	1,0031662
12	0,9996117	1,0003888	28	0,9965704	1,0034414
13	0,9995080	1,0004924	29	0,9962864	1,0037274
14	0,9993922	1,0006081	30	0,9959917	1,0040245

*) Hällström hat seine Messungen später (*Pogg. Ann.* Bd. 34, S. 220) nochmals in einer etwas abgeänderten Weise berechnet und dadurch Resultate

Wahre Ausdehnung des Wassers, nach Muncke's und Stampfer's
Versuchen, berechnet von Hällström.
Dichtigkeit und Volum bei 0° = 1 gesetzt.

Temperatur.	Dichtigkeit.	Volum.	Temperatur.	Dichtigkeit.	Volum.
0° C.	1,000000	1,000000	22° C.	0,997982	1,002022
1	1,000050	0,999950	23	0,997754	1,002251
2	1,000080	0,999915	24	0,997515	1,002491
3	1,000106	0,999894	25	0,997267	1,002741
3,9	1,000118	0,999882	26	0,997008	1,003001
4	1,000112	0,999888	27	0,996740	1,003271
5	1,000103	0,999897	28	0,996463	1,003549
6	1,000081	0,999919	29	0,996178	1,003837
7	1,000044	0,999956	30	0,995802	1,004216
8	0,999994	1,000006	35	0,994272	1,005761
9	0,999931	1,000069	40	0,992560	1,007496
10	0,999855	1,000145	45	0,990654	1,009434
11	0,999765	1,000235	50	0,988563	1,011570
12	0,999662	1,000338	55	0,986297	1,013894
13	0,999547	1,000453	60	0,983867	1,016398
14	0,999419	1,000581	65	0,981280	1,019078
15	0,999280	1,000720	70	0,978550	1,021920
16	0,999128	1,000872	75	0,975685	1,024921
17	0,998966	1,001035	80	0,972695	1,028072
18	0,998791	1,001210	85	0,969590	1,031364
19	0,998605	1,001397	90	0,966379	1,034791
20	0,998408	1,001594	95	0,963070	1,038346
21	0,998201	1,001802	100	0,959678	1,042016

Von 0° bis 30° C. ist diese Tafel das Resultat der aus Stampfer's und einem Theile von Muncke's Messungen hergeleiteten Gleichung:

$$V = 1 - 0,000057577t + 0,0000075601t^2 - 0,000000035091t^5$$

Von 30° bis 100° beruht sie auf der aus einem andern Theile von Muncke's Messungen berechneten Gleichung:

$$V = 1 - 0,0000094178t + 0,00000533661t^2 - 0,0000000104086t^5$$

Was nun die Temperatur des Maximums der Dichte des Wassers betrifft, so beträgt sie nach Hällström's Berechnungen und

- | | | | |
|--------------------------|-------------------|------|-------------|
| 1) Hällström's Beobacht. | = 4°,108 ± 0°,238 | also | { 4°,346 C. |
| | | | { 3,870 " |
| 2) Hällström's | = 4,031 ± 0,135 | " | { 4,165 " |
| | | | { 3,897 " |
| 3) Muncke's | = 3,879 ± 0,058 | " | { 3,937 " |
| | | | { 3,821 " |
| 4) Muncke's | = 3,972 ± 0,159 | " | { 4,131 " |
| | | | { 3,813 " |
| 5) Stampfer's | = 3,790 ± 0,140 | " | { 3,930 " |
| | | | { 3,630 " |

(Die Angaben Nr. 1 und 2 beruhen auf den nämlichen Versuchen, nur auf verschiedenen Berechnungen. Nr. 3 und 4 sind dagegen aus verschiedenen Reihen der Muncke'schen Versuche abgeleitet.)

erhalten, die sich ein wenig von den in dieser Tafel gegebenen entfernen. Da aber die Unterschiede nur sehr gering sind (bei 30° beträgt z. B. nach der neuen Berechnung das Volum 1,003944, also nur 0,000028 mehr als oben) und seine neue Tafel nicht durchgehends von Grad zu Grad fortschreibt, so haben wir hier der alten den Vorzug gegeben.

Aus den vier letzten Werthen hat Hällström den Mittelwerth, mit Berücksichtigung des Gewichts eines jeden, berechnet, und findet so als Endresultat für die Temperatur t des Maximums der Dichte des Wassers:

$$t = 3^{\circ},90 \text{ C. mit der Fehlergränze } \pm 0,04,$$

welcher Werth auch in der letzten der drei Tafeln enthalten ist. In den meisten Fällen kann man wohl ohne Schaden die runde Zahl $t = 4^{\circ},0 \text{ C.}$ annehmen, und selbst $t = 4^{\circ},1 \text{ C.}$ (wie in der ersten Tafel), da die Dichtigkeit des Wassers in der Nähe dieses Punkts sich nur sehr wenig verändert, und da man, trotz aller Sorgfalt, die auf die obigen Messungen verwandt ward, immer noch Zweifel hegen könnte, ob die Temperaturbestimmungen, von denen eben so viel abhängt, als von den Messungen des Volums, den letzten Grad von Schärfe hatten *).

Das eben Gesagte erhält noch eine Bestätigung durch die Untersuchungen von Rudberg und Despretz. Ersterer fand durch eine Arbeit, die bisher nicht weiter veröffentlicht worden, das Dichtigkeitsmaximum des Wassers bei $= + 4^{\circ},02 \text{ C.}$ **), Letzterer bei $= + 4^{\circ},0 \text{ C.}$

Despretz's Angabe ist das Resultat zweier sehr ausgedehnter Reihen von Messungen; bei der ersten wurde das Volum des Wassers in einem thermometerartigen Apparat von $- 9^{\circ}$ bis $+ 17^{\circ} \text{ C.}$ gemessen, bei der zweiten das Dichtigkeitsmaximum durch die vorhin auseinandergesetzte Methode der Strömungen mittelst vier in horizontaler Lage über einander angebrachter Thermometer bestimmt, sowohl beim Erwärmen als beim Erkalten. Achtzehn Versuche der ersten Art gaben im Mittel die Temperatur des Maximums $= 4^{\circ},007$. Von den Versuchen der letzteren Art gaben die beim Erwärmen als mittleres Resultat $= 3^{\circ},974$, die beim Erkalten $= 3^{\circ},995$. Das Mittel aus allen ist $= 3^{\circ},997$ oder 4° C. ***), Despretz scheint seine Messungen mit vieler Sorgfalt angestellt zu haben. Ausser den gewöhnlichen Vorsichtsmafsregeln hat er auch noch vor und nach jedem Versuche den Nullpunkt seiner Thermometer unter-

*) Welche Werthe die früheren Beobachtungen und Berechnungen ergeben haben, mag man aus folgender Tafel ersehen:

Beobachter.	Berechner.	t	Beobachter.	Berechner.	t
Deluc . . .	Biot . . .	3 ^o ,42 C.	Charles . . .	Paucker . . .	3 ^o ,88 C.
» . . .	Ekstrand . . .	3,60	Lefevre - Gi-	Lefevre - Gi-	
» . . .	Paucker . . .	1,76	neau . . .	neau . . .	4,44
» . . .	Hällström . . .	1,76	Hällström . . .	Hällström . . .	4,35
Dalton . . .	Dalton . . .	2,22	Bischof . . .	Bischof . . .	4,06
» . . .	Biot . . .	4,35	Rumford . . .	Rumford . . .	4,38
Gilpin . . .	Young . . .	3,89	» . . .	» . . .	3,47
» . . .	Biot . . .	3,89	Tralles . . .	Tralles . . .	4,35
» . . .	Eytelwein . . .	2,59	Hope . . .	Hope . . .	3,33
» . . .	Walbeck . . .	0,44	» . . .	» . . .	3,88
» . . .	Hällström . . .	3,82	» . . .	» . . .	4,16
Schmidt . . .	Eytelwein . . .	2,91	Ekstrand . . .	Ekstrand . . .	3,60
» . . .	Hällström . . .	8,63	» . . .	» . . .	3,90
Charles . . .	Biot . . .	3,99			

**) Berzelius' Jahresbericht XIV, S. 102.

***) Ann. de chim. et de phys. T. 70, p. 5. — Durch die Methode der Strömungen fand Hällström die Temperatur des Maximums, wie schon erwähnt,

sucht, und wenn durch die Erwärmung oder Erkältung eine Verrückung dieses Punkts eingetreten war, die desfallsige Berichtigung angebracht; ebenso hat er berücksichtigt, dass die Thermometer, wenn sie, wie bei der Methode der Strömungen, in horizontaler Lage angewandt werden, eine etwas zu hohe Angabe liefern. Allein er scheint doch nicht die Thermometergrade auf wahre Temperaturen reducirt zu haben, und überdies hat er aus seinen zahlreichen Messungen die Resultate nur mittelst einer graphischen Construction abgeleitet. Wahrscheinlich würden diese etwas anders ausfallen, wenn man die Beobachtungen, wie es Hällström mit den seinigen that, nach der strengen, aber freilich etwas mühsamen Methode der kleinsten Quadrate berechnen wollte.

Endlich hat Despretz noch das Volum des Wassers nach erwähneter Art in zwei thermometerartigen Apparaten für 19 Punkte zwischen 4° und 99°,3 C. gemessen, und darnach mittelst graphischer Interpolation eine Tafel entworfen, die wir, zum Vergleich mit der schon gegebenen, hier folgen lassen:

Wahre Volume des Wassers, nach Despretz.

Temp.	Volume.	Temp.	Volume.	Temp.	Volume.	Temp.	Volume.
4°C	1,000000	29°C	1,00403	53°C	1,01345	77°C	1,02694
5	1,000082	30	1,00433	54	1,01395	78	1,02761
6	1,000309	31	1,00463	55	1,01445	79	1,02823
7	1,000708	32	1,00494	56	1,01495	80	1,02885
8	1,001216	33	1,00525	57	1,01547	81	1,02954
9	1,001879	34	1,00555	58	1,01597	82	1,03022
10	1,002684	35	1,00593	59	1,01647	83	1,03090
11	1,003598	36	1,00624	60	1,01698	84	1,03156
12	1,004723	37	1,00661	61	1,01752	85	1,03225
13	1,005862	38	1,00699	62	1,01809	86	1,03293
14	1,007146	39	1,00734	63	1,01862	87	1,03361
15	1,008751	40	1,00773	64	1,01913	88	1,03430
16	1,0010215	41	1,00812	65	1,01967	89	1,03500
17	1,0012067	42	1,00853	66	1,02025	90	1,03566
18	1,00139	43	1,00894	67	1,02085	91	1,03639
19	1,00158	44	1,00938	68	1,02144	92	1,03710
20	1,00179	45	1,00985	69	1,02200	93	1,03782
21	1,00200	46	1,01020	70	1,02255	94	1,03852
22	1,00222	47	1,01067	71	1,02315	95	1,03925
23	1,00244	48	1,01109	72	1,02375	96	1,03999
24	1,00271	49	1,01157	73	1,02440	97	1,04077
25	1,00293	50	1,01205	74	1,02449	98	1,04153
26	1,00321	51	1,01248	75	1,02562	99	1,04228
27	1,00345	52	1,01297	76	1,02631	100	1,04315
28	1,00374						

An den numerischen Werth der Temperatur, bei welcher das Wasser seine größte Dichtigkeit besitzt, knüpft sich für jetzt keine theoretische Betrachtung weiter an; aber er hat für die Praxis dadurch Wichtigkeit erlangt, dass die Urheber des neufranzösischen Gewichts auf den eben nicht glücklichen Gedanken geriethen, dasselbe von diesem Werth abhängig zu machen, indem sie festsetzten, dass das Gewicht eines Kubikcenti-

ebenfalls = 4°,004 C. Dies war der Mittelwerth sämmtlicher Resultate; die Beobachtungen beim Erkalten gaben 4°,575; die beim Erwärmen 3°,433.

meters Wasser beim Punkte seiner größten Dichtigkeit die Einheit des neuen Gewichts, Gramme genannt, seyn solle. Eben dadurch ist ein großer Theil der Untersuchungen über diesen Punkt hervorgerufen worden.

Ausdehnbarkeit wässriger Salzlösungen; sie ist wie die des Wassers ungleichförmig, und hängt sowohl von der Natur als der relativen Menge des im Wasser gelösten Salzes ab; da beide Elemente einer fast unendlichen Abänderung fähig sind und man eben deshalb keine Hoffnung auf baldige Entdeckung eines allgemeinen Gesetzes hegen darf, so scheinen die Untersuchungen in diesem Felde wenig einladend zu seyn, falls sich nicht etwa ein praktisches Interesse daran knüpft. Im Allgemeinen ist dem auch wirklich so, und das erklärt, weshalb im Ganzen so wenig Untersuchungen dieser Art vorhanden sind. Es giebt jedoch einen Gesichtspunkt, unter welchem die Ausdehnbarkeit der Salzlösungen recht viel Interesse besitzt, nämlich in ihrer Beziehung zu der des reinen Wassers und deren Anomalie. Die Frage, ob salziges Wasser gleich dem süßen ein Maximum der Dichte habe, ist sogar von Wichtigkeit für die physikalische Geographie, indem ohne Beantwortung derselben die Untersuchung über die Temperatur des Meeres in großer Tiefe nicht abgeschlossen werden kann.

Die Ausdehnung des Meerwassers, in Bezug auf ein etwaiges Maximum der Dichte ist daher mehrfach ein Gegenstand der Untersuchung gewesen. Blagden *) glaubte gefunden zu haben, es besitze ein solches, nur sey es, durch den Salzgehalt das Maximum des reinen Wassers um eben so viel hinabgedrückt als der Gefrierpunkt desselben. An einer Kochsalzlösung, bestehend aus 1 Theile Salz und 4,8 Theile Wasser, fand er den Gefrierpunkt = $-12^{\circ},9$ C., d. h. = $0^{\circ} - 12^{\circ},9$ C., die Temperatur des Maximums der Dichte = $-8^{\circ},5$ C., d. h. = $+4^{\circ},4 - 12^{\circ},9$ (er setzte nämlich das Maximum des reinen Wassers auf $+4^{\circ},4$ C.). Marcet **) konnte am wirklichen Meerwasser ***) oberhalb 0° C. kein Maximum wahrnehmen. In einem thermometerartigen Apparat sah er es, nach Berichtigung wegen der Ausdehnung des Glases, bis $-5^{\circ},5$ C. (22° F.) sich zusammenziehen; bei diesem Punkt erfolgte eine geringe Ausdehnung, aber bald darauf, bei 6° oder $6^{\circ},5$ C. gefror es und zersprengte den Apparat. Späterhin hat Erman jun. den Gegenstand mit großer Ausführlichkeit behandelt †). Durch Anwendung verschiedener Methoden (hydrostatischer Abwägungen und der der Strömungen ††) fand er: 1) dass Kochsalzlösung von 1,027 spec. Gew. kein Maximum der Dichtigkeit hat, so lange es flüssig ist, und dass selbst, wenn Eis sich darin bildet, der flüssig gebliebene Theil (wenigstens bis -3° R. = $-3^{\circ},75$ C.) beständig und sehr stark an Dichtigkeit zunimmt; 2) dass Kochsalzlösung von 1,020 spec. Gew. ebenfalls kein Maximum besitzt, welches vom Ge-

*) Phil. Transact. (1788) Vol. LXXVIII, p. 311.

**) Gilb. Ann. Bd. 63, S. 235.

***) Das Meerwasser enthält in 1000 Thl., nach Gay-Lussac 35,7 bis 37,7, nach Vogel (aus dem atlantischen Ocean) 38 Thl. fester Bestandtheile, bestehend, nach letzterem, aus 21,5 Chlornatrium 5,78 Bittersalz, 3,50 Chlortalcium, 0,20 kohlen. Kalk- und Talkerde, 0,15 schwefels. Kalk.

†) Pogg. Ann. Bd. 12, S. 463 und Bd. 41, S. 72.

††) Außerdem einer, die darauf beruht, dass wenn man bei etwa -15° C. Lufttemperatur ein Thermometer, mit der Kugel etwa 1 Linie über dem Boden, in einem Gefäß mit Wasser von etwa der Temperatur 8° C. ruhig erkalten lässt, der Gang der Erkaltung beim Punkt des Maximums der Dichte eine große Verzögerung erleidet. Meerwasser zeigte eine solche Verzögerung nicht.

frierpunkt der Lösung (— 1,56 C.) merklich entfernt wäre; 3) dass Kochsalzlösung von 1,010 spec. Gew. ein Maximum besitzt und zwar bei + 1°,87 C. Damit in einigem Widerspruch steht eine neuere Untersuchung von Despretz **). Indem dieser Meerwasser (das bei 20° C. die Dichte 1,0273 besaß) in einen thermometerartigen Apparat einschloss (eine Methode, die Erman nicht anwandte) und ruhig bis 6,10 und auch wohl 13 Centigrad unter Null erkalten liefs, auch, nach eigenen Versuchen, die nöthige Correction wegen der Ausdehnung des Glases anbrachte, fand er, dass dasselbe ein Maximum der Dichte habe, und zwar, im Mittel auf fünf Versuchen, bei — 3°,67 C. Erschüttert gefror dies Meerwasser bei — 2°,55 C. und dabei stieg das Thermometer auf — 1°,84 C.

Endlich hat Muncke **) die Ausdehnung eines künstlichen von L. Gmelin bereiteten Meerwassers untersucht, und zwar nicht blofs in der Nähe von 0°, sondern von da bis 100°. Die von ihm durch Beobachtung, mittelst thermometerartiger Apparate, gefundenen Werthe der wahren Ausdehnung des Meerwassers sind folgende:

Temperatur.	Volume.	Temperatur.	Volume.	Temperatur.	Volume.
0° C.	1,0000000	35° C.	1,0075813	70° C.	0,0241070
5	1,0004355	40	1,0094394	75	1,0270070
10	1,0010214	45	1,0114234	80	1,0301039
15	1,0019082	50	1,0136005	85	1,0335256
20	1,0030627	55	1,0160101	90	1,0368355
25	1,0044181	60	1,0185412	95	1,0404401
30	1,0059243	65	1,0212930	100	1,0442098

Diese Resultate führen ihn zu der Gleichung:

$$V=1+0,00005769938t+0,0000050963866t^2-0,00000001873304t^3+0,0000000000617807t^4$$

nach welcher das Maximum der Dichte bei — 5°,25 C. liegen würde.

Die Angaben über die Temperatur dieses Maximums sind demnach nicht unbedeutend verschieden; doch stimmen die vier letztgenannten Physiker darin überein, dass das Meerwasser oberhalb 0° kein Maximum der Dichte besitzt. Zweifelhaft könnte nur noch seyn, wo es genau unter Null liege, und ob nicht überhaupt das beobachtete Maximum eine Folge von bereits ausgeschiedenem Salze sey, was indess nach Despretz's Versuchen nicht wahrscheinlich ist.

Zum Behufe von Berichtigung der Bestimmungen, die in gewöhnlichen Temperaturen über das specifische Gewicht des Meerwassers gemacht sind, hat Lenz die folgende Tafel gegeben ***):

*) Pogg. Ann. Bd. 41, S. 62. — Ann. de chim. et de phys. T. LXX, p. 49.

**) Mém. présent. à l'acad. de St. Petersb. par div. Sav. T. 1, p. 310.

***) Pogg. Ann. Bd. XX, S. 118.

Meerwasser,
das specifische Gewicht bei 0° gleich Eins gesetzt.

R.°	Specif. Gew.								
0°	1,000000	5°	0,998959	10°	0,997796	15°	0,996369	20°	0,994538
1	0,999795	6	0,998741	11	0,997536	16	0,996042	21	0,994110
2	0,999589	7	0,998516	12	0,997265	17	0,995693	22	0,993660
3	0,999382	8	0,998285	13	0,996980	18	0,995328	23	0,993186
4	0,999173	9	0,998045	14	0,996682	19	0,994943	24	0,992686

Die Tafel beruht von 6° R. an auf eigenen hydrostatischen Abwägungen, unterhalb dieser Temperatur auf denen von E r m a n. Sie ist gültig, das bei 0° gleich Eins gesetzte specifische Gewicht des Meerwassers mag 1,02 oder 1,03 betragen, da Veränderungen des Salzgehalts innerhalb dieser Gränzen keinen erheblichen Einfluss auf die Aenderung des Volums oder des specifischen Gewichts ausüben.

Was das Maximum der Dichte bei anderen Salzlösungen betrifft, so verdanken wir auch darüber Despretz eine Reihe schätzbarer Bestimmungen, die übersichtlich in folgender Tafel zusammengestellt sind. Auch sie wurden durch Anwendung thermometerartiger Apparate erhalten, und die beobachteten Volume wegen der Ausdehnung des Glases berichtigt. Die Salze wurden wasserfrei angewandt bis auf das schwefelsaure Kupferoxyd, dessen Krystallwasser jedoch dem Auflösungswasser hinzugerechnet ward *).

Lösungen.	Bestandtheile		Dichtigkeit bei etwa 6°,3 C.	Temperatur des Maxim. der Dichtigkeit.	Gefrierpunkt beim Erschüttern.
	Wasser	aufgelöste Substanz			
	Gewichtstheile.				
Chlornatrium .	997,45	12,346	1,009	+ 1°,19 C.	- 1°,21 C.**)
„	997,45	24,692	1,018	- 1°,69	- 2°,24
„	997,45	37,039	1,0269	- 4°,75	- 2°,77
„	997,45	74,078		- 16°,0	- 4°,3
Schwefels. Kali .	997,45	6,173	1,0051	+ 2°,92	- 0°,15
„	997,45	12,346	1,0102	+ 1°,91	- 0°,27
„	997,45	24,692	1,0201	- 0°,11	- 0°,55
„	997,45	37,039	1,0298	- 2°,28	- 2°,09
„	997,45	74,048	1,0579	- 8°,37	- 4°,08
Schwefels. Natron	997,45	6,173	1,0059	+ 2°,52	- 0°,17
„	997,45	12,346	1,00116	+ 1°,15	- 0°,36
„	997,45	24,692	1,0225	- 1°,51	- 0°,68
„	997,45	37,039	1,0339	- 4°,33	- 2°,30
„	997,45	74,078	1,0657	- 12°,26	- 2°,39
Chlorcalcium .	997,45	6,173	1,0052	+ 3°,24	- 0°,22
„	997,45	12,346	1,0103	+ 2°,05	- 0°,53
„	997,45	24,692	1,0204	+ 0°,06	- 1°,03
„	997,45	37,039	1,0314	- 2°,43	- 3°,92

*) Die Punkte des Maximums der Dichte sind das Mittel aus mehreren Beobachtungsreihen über das Volum der Lösungen bei verschiedener Temperatur und aus dieser durch graphische Construction hergeleitet; bei schärferer Berechnung dieser Reihen würden sich wahrscheinlich etwas andere Resultate ergeben.

**) Bei den drei ersten Kochsalzlösungen stieg die Temperatur sogleich nach dem Gefrieren respective auf - 0°,71, - 1°,41 und 2°,12 C.

Lösungen.	Bestandtheile		Dichtigkeit bei etwa 6°,3 C.	Tem- peratur des Maxim. der Dichtigkeit.	Gefrier- punkt beim Erschüt- tern.
	Wasser	aufgelöste Substanz Gewichtstheile.			
Chlorcalcium . .	997,45	74,078	1,0601	-10°,43 C.	-5°,28 C.
Kohlens. Kali . .	997,45	37,039	1,0328	-3 ,95	-3 ,21
" "	997,45	74,078	1,0640	-12 ,41	-2 ,25
Kohlens. Natron	997,45	37,039	1,0387	-7 ,01	-2 ,85
" "	997,45	74,078	1,0746	-17 ,30	-2 ,20
Schwefels. Kupfer	997,45	57,996		-0 ,62	-1 ,32
Kalihydrat . . .	997,45	37,039	1,0319	-5 ,64	-2 ,10
" "	997,45	74,078	1,0619	-15 ,95	-4 ,33
Alkohol	997,45	37,039		+2 ,23	-2 ,83
" "	997,45	74,078		+2 ,30	-2 ,83
Schwefelsäure .	997,45	6,173	1,0043	+2 ,18	-0 ,21
" "	997,45	12,346	1,0084	+0 ,60	-0 ,44
" "	997,45	24,692	1,0165	-1 ,92	-1 ,09
" "	997,45	37,039	1,0241	-5 ,02	-1 ,34
" "	997,45	74,078	1,0464	-13 ,72	-2 ,75

Aus diesen Resultaten folgert Despretz: 1) Alle Salzlösungen haben ein Maximum der Dichte; 2) dasselbe senkt sich schneller als der Gefrierpunkt; 3) die Senkung des Gefrierpunkts unter 0°, und die des Maximums der Dichte unter + 4° C. (dem Punkt des Maximums der Dichte des reinen Wassers) sind nahezu der Menge des im Wasser aufgelösten Stoffs proportional. Auch machte er darauf aufmerksam, dass die Senkung des Gefrierpunkts zu der des Maximums nach der Natur des Salzes in sehr verschiedenem Verhältnisse steht.

An zweckmäßigen Bestimmungen über den vollständigen Gang der Ausdehnung von Salzlösungen in höherern Temperaturen ist noch Mangel. Despretz Versuche erstrecken sich nur auf niedere Temperaturen. Aeltere Versuche von De Luc über den Gang einiger mit verschiedenen Flüssigkeiten gefüllter Thermometer sind unbrauchbar, nicht nur an sich (theils wegen vernachlässigter Kalibrirung der Röhren, theils wegen Unkenntniss der Ausdehnung des angewandten Glases), sondern auch, weil sie nur die relative Ausdehnung angeben, d. h. den S. 606 erwähnten Quotienten

$$\frac{V_t - V_0}{V_{100} - V_0}$$

neben welchem man eine Angabe über $V_{100} - V_0$ haben müsste, um die scheinbaren Volume V_t und demnächst die wahren Volume daraus ableiten zu können. Einige Angaben von G. G. Schmidt erstrecken sich nicht bis auf den Gefrierpunkt, oder geben den Wassergehalt der untersuchten Flüssigkeit (Schwefelsäure, Salpetersäure) nicht an, weshalb sie auch, gleich einigen anderen Bestimmungen, heut zu Tage keinen Werth haben.

Am meisten Anspruch auf Genauigkeit machen die Bestimmungen von M u n c k e über die Ausdehnung der Ammoniakflüssigkeit und der drei gewöhnlichsten Säuren. Wir lassen sie hier folgen, und bemerken nur noch, dass sie sämmtlich mittelst thermometerartiger Apparate gefunden, und wegen der Ausdehnung des Glases berichtigt wurden *).

*) Für das Weitere verweisen wir auf das Original (*Mém. présentés à l'Acad. de St. Petersbourg par divers savans T. 1, p. 249*), wo auch die

Wahre Ausdehnung einer Ammoniakflüssigkeit von 0,9465 specif. Gew.
bei 12°,5 C.

Temperatur.	Volume		Temperatur.	Volume	
	beobachtet.	berechnet.		beobachtet.	berechnet.
- 15°C.	0,9961073	0,9960317	+ 20°C.	1,0071401	1,0070976
- 10	0,9972799	0,9973295	25	1,0093737	1,0093584
- 5	0,9986024	0,9986284	30	1,0117342	1,0117921
0	1,0000000	1,0000000	35	1,0142471	1,0143606
+ 5	1,0014727	1,0015003	40	1,0169628	1,0170099
10	1,0031702	1,0031699	45	1,0198310	1,0196704
15	1,0050593	1,0050323			

Die berechneten Werthe sind das Resultat der aus den Beobachtungen abgeleiteten Formel:

$$V = 1 + 0,000285586t + 0,000002600t^2 + 0,000000064t^3 - 0,000000001t^4,$$

nach welcher die Ammoniakflüssigkeit kein Maximum der Dichte hat. Ueber 45° konnten die Messungen nicht fortgesetzt werden, da bei diesem Punkt anfang Gas in Blasen zu entweichen.

Wahre Ausdehnung der Salzsäure von 1,4978 specifischem Gewicht
bei 12°,5 C.

Temperatur.	Volume		Temperatur.	Volume	
	beobachtet.	berechnet.		beobachtet.	berechnet.
- 20°C.	0,9884144	0,9879712	+ 15°C.	1,0083768	1,0084082
- 15	0,9909987	0,9911707	20	1,0112816	1,0112141
- 10	0,9940393	0,9942171	25	1,0139942	1,0140325
- 5	0,9970456	0,9971431	30	1,0168302	1,0168594
0	1,0000000	1,0000000	35	1,0196047	1,0196836
+ 5	1,0028624	1,0028198	40	1,0224503	1,0224870
10	1,0055955	1,0056160	45	1,0253598	1,0252442

Die berechneten Werthe entspringen aus der Gleichung:

$$V = 1 + 0,0005662370t - 0,0000008295t^2 + 0,0000000371t^3 - 0,0000000005t^4,$$

welche für negative Werthe von t kein Maximum der Dichte liefert. Bei 45° C. begann die Säure Gasbläschen zu entwickeln.

Volume bis auf 10, und die Coëfficienten der Gleichungen bis auf 24 und selbst 30 Decimalstellen gegeben sind. Wir haben die ersteren auf 7 und die letzteren meist auf 9 abgekürzt, wiewohl leicht zu erweisen, dass die Zuverlässlichkeit der Messungen lange nicht einmal so weit geht.

Wahre Ausdehnung der Salpetersäure von 1,4405 specifischem Gewicht und dem Siedpunkt 135° C.

Temperatur.	Volumen		Temperatur.	Volumen	
	beobachtet.	berechnet.		beobachtet.	berechnet.
- 20°C.	0,9804017	0,9776281	+ 50°C.	1,0535165	1,0535636
15	0,9846828	0,9834761	55	1,0592513	1,0593124
10	0,9898162	0,9891272	60	1,0652731	1,0651691
5	0,9951420	0,9946225	65	1,0711069	1,0711331
0	1,0000000	1,0000000	70	1,0771107	1,0772010
+ 5	1,0053458	1,0052950	75	1,0831656	1,0833664
10	1,0105469	1,0105396	80	1,0897324	1,0896196
15	1,0156678	1,0157630	85	1,0960075	1,0959484
20	1,0210015	1,0209915	90	1,1023988	1,1023373
25	1,0262703	1,0262484	95	1,1088682	1,1087679
30	1,0316474	1,0315538	100	1,1148853	1,1152790
35	1,0368193	1,0369252	105	1,1218660	1,1216662
40	1,0424056	1,0423769	110	1,1286437	1,1280822
45	1,0479512	1,0479202	115	1,1354794	1,1344367

Die berechneten Werthe erfolgen aus der Gleichung:

$$V = 1 + 0,001066129 t - 0,000001646 t^2 + 0,000000045 t^3 - 0,0000000002 t^4,$$

welche kein Maximum der Dichte liefert.

Wahre Ausdehnung der Schwefelsäure von 1,836 specifischem Gewicht bei 129,5 C.

Temperatur.	Volumen		Temperatur.	Volumen	
	beobachtet.	berechnet.		beobachtet.	berechnet.
- 30°C.	0,9818625	0,9883576	+ 110°C.	1,0638236	1,0661176
- 20	0,9884863	0,9910441	120	1,0691885	1,0749304
- 10	0,9941196	0,9950614	130	1,0751057	1,0855295
0	1,0000000	1,0000000	140	1,0805540	1,0984574
+ 10	1,0056740	1,0055186	150	1,0872714	1,1143244
20	1,0112811	1,0113439	160	1,0939740	1,1338088
30	1,0172634	1,0172705	170	1,1004882	1,1576571
60	1,0231948	1,0228444	180	1,1065592	1,1866834
50	1,0290213	1,0289460	190	1,1128822	1,2217702
60	1,0346529	1,0346240	200	1,1192886	1,2638675
70	1,0401975	1,0402615	210	1,1259128	1,3145216
80	1,0460088	1,0459932	220	1,1322464	1,3732350
90	1,0529977	1,0520215	230	1,1388577	1,4427456
100	1,0578495	1,0586168			

Der (bei höheren Graden etwas stark von der Beobachtung abweichenden) Rechnung liegt die aus den Beobachtungen von 30° bis + 100° C. abgeleitete Formel:

$$V = 1 + 0,0005279835 t + 0,0000028718 t^2 - 0,000000051224 t^3 + 0,000000000283244 t^4$$

zum Grunde. Besser vorgestellt werden die Beobachtungen durch die aus allen Beobachtungen abgeleiteten Formel:

$$V = 1 + 0,000551615581 t + 0,00000083851988 t^2 - 0,000000008171231 t^3 + 0,000000000252167 t^4,$$

aber diese giebt das Maximum der Dichte bei -103° C., während erstere es auf $-39^{\circ},2$ C. setzt.

Ausdehnung des Alkohols. Von dieser gilt im Allgemeinen dasselbe, was über die Ausdehnung der Salzlösungen bemerkt worden; nur hat sie ein specielles Interesse wegen ihres Einflusses auf Alkoholometrie und Thermometrie, weshalb man sie auch mehrfach zu bestimmen gesucht hat. Im Allgemeinen ist die Ausdehnung des Alkohols desto stärker für gleiche Temperaturanwüchse, je wasserfreier er ist; je mehr Wasser er enthält, desto mehr nähert sich seine Ausdehnbarkeit der des Wassers. Bis jetzt ist es indess noch nicht geglückt (nicht einmal versucht), aus der Ausdehnung des Wassers und des wasserfreien Alkohols die des Weingeistes oder wasserhaltigen Alkohols für verschiedenen Wassergehalt herzuleiten.

Für Alkohol, der bei 60° F. das specif. Gew. 0,825 (gegen das von Wasser bei 60° F.) besitzt, und dessen Mischungen mit Wasser, bis zu gleichen Gewichtstheilen, geht die Ausdehnung, von 30° bis 100° F., schon aus der unter dem Artikel Alkoholometrie S. 218 gegebenen Tafel von Gilpin hervor.

Für die Ausdehnung eines Alkohols, dessen spec. Gew. = 0,8062, bei 0° C., gegen das von Wasser bei $3^{\circ},78$ C. = 1 war, hat neuerlich M u n c k e *), mittelst eines thermometerartigen Apparats, folgende Werthe gefunden:

Temperatur.	Volumen		Temperatur.	Volumen	
	beobachtet.	berechnet.		beobachtet.	berechnet.
-15° C.	1,0147644	1,0147368	$+14^{\circ}$ C.	0,9901769	0,9899009
-10	1,0169536	1,0168808	16	0,9950040	0,9949189
-5	1,0191605	1,0190674	18	1,0000000	1,0000000
0	1,0213837	1,0212752	20	1,0010182	1,0010719
$+$ 1	1,0236224	1,0233893	22	1,0020424	1,0021021
2	1,0270074	1,0267491	25	1,0030726	1,0031575
3	1,0327134	1,0322457	30	1,0041086	1,0042463
4	1,0384872	1,0379702	35	1,0051504	1,0053185
5	1,0443143	1,0436746	40	1,0061977	1,0063071
6	1,0501804	1,0496608	45	1,0072505	1,0073585
7	1,0560710	1,0557882	50	1,0083087	1,0084166
8	1,0619717	1,0619054	55	1,0093722	1,0094823
9	1,0678681	1,0682757	60	1,0104407	1,0105547
10	1,0737456	1,0746065	65	1,0115143	1,0116215
11	1,0796899	1,0811729	70	1,0125929	1,0126885
12	0,9855331	0,9851728			

Die berechneten Volumina sind das Resultat der aus den Beobachtungen abgeleiteten Formel:

$$V = 1 + 0,0010151148848t + 0,00000308840829t^2 - 0,0000000192458568t^3,$$

deren Differentialquotient für die Temperatur des Maximums der Dichte den Werth $t = -89^{\circ},5$ C. giebt. Die größte Dichte selbst wäre darnach = 0,9476858934.

*) Mém. présent. à l'Acad. de St. Petersburg par div. Savans. T. II, p. 483. (Ann. de chim. et de phys. T. LXIV, p. 5.)

Wahre Ausdehnung des Aethers, von 0,733 spec. Gewicht
bei 12°,5 C., nach Muncke *).

Temperatur.	Volumen		Temperatur.	Volumen	
	beobachtet.	berechnet.		beobachtet.	berechnet.
- 21°C.	0,9696422	0,9717063	+ 15°C.	1,0226365	1,0227249
15	0,9777004	0,9787098	20	1,0303103	1,0303566
10	0,9868953	0,9853980	25	1,0380698	1,0381303
5	0,9921214	0,9925653	30	1,0466743	1,0462076
0	1,0000000	1,0000000	35	1,0550428	1,0548122
+ 5	1,0077635	1,0075527	40	1,0635235	1,0642300
10	1,0150591	1,0151360			

Die berechneten Werthe beruhen auf der Formel:

$$V = 1 + 0,00150268447t + 0,000002255214t^2 - 0,00000015783t^3 + 0,0000000041466t^4,$$

welche das Maximum der Dichte auf - 36° C. setzt.

Wahre Ausdehnung des Schwefelkohlenstoffs, nach Muncke.

Temperatur.	Volumen		Temperatur.	Volumen	
	beobachtet.	berechnet.		beobachtet.	berechnet.
- 20°C.	0,9781262	0,9781625	+ 5°C.	1,0056864	1,0056715
19	0,9791709	0,9792227	6	1,0068631	1,0068161
18	0,9802767	0,9802862	10	1,0115198	1,0114296
17	0,9813419	0,9813530	15	1,0172496	1,0172753
16	0,9824885	0,9824230	16	1,0184189	1,0184551
15	0,9835334	0,9834964	20	1,0232350	1,0232095
14	0,9846395	0,9845732	25	1,0291796	1,0292331
13	0,9856792	0,9856532	26	1,0304410	1,0304486
12	0,9867296	0,9867366	30	1,0353473	1,0353470
11	0,9877441	0,9878233	35	1,0415167	1,0415521
10	0,9888381	0,9889134	40	1,0478530	1,0478493
8	0,9910145	0,9910362	45	1,0541256	1,0542395
6	0,9933117	0,9933073	50	1,0606108	1,0607236
5	0,9944583	0,9944143	55	1,0672959	1,0673026
4	0,9955121	0,9955246	60	1,0740856	1,0739773
2	0,9977009	0,9977555	65	1,0809663	1,0807487
0	1,0000000	1,0000000			

Die berechneten Werthe gründen sich auf die Formel:

$$V = 1 + 0,001125690t + 0,000001715049t^2 + 0,00000000121t^3.$$

Ueber die drei letzten Flüssigkeiten und das Wasser besitzen wir auch eine Untersuchung von Gay-Lussac, die wegen der anerkannten Genauigkeit ihres Urhebers sehr schätzbar ist. Wir geben die Resultate ganz in der Form, wie er sie bekannt gemacht **). Es sind nicht sowohl die Ausdehnungen als vielmehr die Zusammenziehungen gemessen, und zwar von den respectiven Siedpunkten an, weshalb die Temperaturen von

*) Mém. présent. à l'Acad. de St. Petersburg. T. I, p. 339; T. II, p. 483. — Aus dieser und der vorhergenannten Quelle sind auch die übrigen Angaben von Muncke entnommen.

***) Ann. de chim. et de phys. T. II, p. 130.

diesen Punkten herunterzählt und die Volumina bei letzteren = 1000 gesetzt werden.

Siedpunkte.	Specificsches Gewicht.			
Wasser . . . 100°,00 C.	0,96064	bei 100° C.	1,000	bei 3°,89 C.
Alkohol . . . 78 ,41	0,73869	» 78 ,41	0,79235	» 17 ,88
Schwefel- kohlenstoff . 46 ,60	1,22116	» 46 ,60	1,2693	» 15 ,11
Aether . . . 35 ,66	0,69739	» 35 ,66	0,71192	» 24 ,77

Scheinbare Zusammenziehung in Glas von den Siedpunkten an.

Wasser		Alkohol		Schwefel- kohlenstoff		Aether	
Temp.	Contract.	Temp.	Contract.	Temp.	Contract.	Temp.	Contract.
0°,0C.	0,00	0°,0 C.	0,00	0°,0C.	0,00	0°,0C.	0,00
3 ,6	2,44	4 ,4	4,90	1 ,3	1,59	1 ,3	2,08
8 ,0	5,40	5 ,5	6,08	3 ,6	4,38	2 ,6	4,04
9 ,2	6,13	6 ,7	7,59	5 ,0	6,14	4 ,4	7,18
14 ,3	10,13	11 ,6	13,25	7 ,9	9,67	6 ,1	9,88
21 ,0	13,68	15 ,2	17,82	10 ,1	12,12	7 ,7	12,46
26 ,6	17,00	19 ,8	23,13	12 ,4	14,93	9 ,1	14,74
33 ,1	20,53	23 ,6	27,52	15 ,0	17,98	10 ,7	17,33
39 ,9	24,06	26 ,8	31,15	17 ,8	21,20	12 ,2	19,76
46 ,2	26,95	31 ,8	36,79	20 ,4	24,27	14 ,0	22,65
51 ,4	29,14	34 ,8	40,05	22 ,9	27,10	16 ,9	27,06
56 ,4	31,16	40 ,8	46,57	25 ,0	29,65	20 ,3	32,27
61 ,5	32,94	47 ,9	53,81	27 ,3	31,98	21 ,1	33,46
67 ,4	34,76	51 ,9	57,92	29 ,8	34,84	25 ,9	40,37
72 ,2	36,07	56 ,7	62,74	31 ,1	36,27	28 ,8	44,69
76 ,1	36,94	61 ,2	67,15	33 ,3	38,68	30 ,3	45,47
78 ,7	37,45	62 ,9	68,88	35 ,7	41,20	31 ,0	47,81
80 ,2	37,74	63 ,5	69,33	37 ,4	43,01	31 ,1	47,88
80 ,4	37,80	65 ,5	71,16	38 ,1	43,68	34 ,0	50,72
84 ,5	38,25	67 ,3	72,97	41 ,0	46,85	37 ,3	55,25
86 ,0	38,52	70 ,7	76,10	42 ,3	48,11	39 ,9	58,54
		72 ,5	77,85	44 ,7	50,68	40 ,5	59,56
		73 ,8	79,03	47 ,7	53,94	48 ,2	69,67
				50 ,0	56,28	51 ,6	74,04
				51 ,1	57,39	53 ,1	75,87
				61 ,7	67,83	54 ,3	77,45
				63 ,5	69,43	54 ,7	77,90
				64 ,3	70,45	55 ,4	78,84

Diese Tafel kann dazu dienen, den Gang von Thermometern, die mit den genannten vier Flüssigkeiten gefüllt sind, zu vergleichen. Die nachstehende Tafel ist durch Rechnung daraus abgeleitet.

Wahre Zusammenziehung, von den respectiven Siedpunkten an.

Temperatur.	Wasser		Alkohol		Schwefelkohlenstoff		Aether	
	beobacht.	berechnet.	beobacht.	berechnet.	beobacht.	berechnet.	beobacht.	berechnet.
0° C.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	3,34	3,35	5,55	5,56	6,14	6,07	8,15	8,16
10	6,61	6,65	11,43	11,24	12,01	12,08	16,17	16,01
15	10,50	9,89	17,51	17,00	17,98	17,99	24,16	23,60
20	13,15	13,02	24,34	23,41	23,80	23,80	31,83	30,92
25	16,06	16,06	29,15	28,60	29,65	29,50	39,14	38,08
30	18,85	18,95	34,74	34,37	35,06	35,05	46,42	45,04
35	21,52	21,67	40,28	40,05	40,48	40,43	52,06	51,86
40	24,10	24,20	45,68	45,66	45,77	45,67	58,77	58,57
45	26,50	26,52	50,85	51,11	51,08	50,70	65,48	65,20
50	28,56	28,61	56,02	56,37	56,28	55,52	72,01	71,79
55	30,60	30,43	61,01	61,43	61,14	60,12	78,38	78,36
60	32,42	31,96	65,96	66,23	66,21	64,48		
65	34,02	33,19	70,74	70,75				
70	35,47	34,09	75,48	74,93				
75	36,70	34,65	80,11	78,75				

Aus dieser Untersuchung geht unter andern hervor, was Muncke's Resultate bestätigen, dass Alkohol und Schwefelkohlenstoff eine beinahe gleiche Ausdehnbarkeit besitzen.

Endlich geben wir hier noch die Messungen von Muncke über rectificirtes Steinöl (specif. Gew. = 0,78125 bei 12°,5 C.) und Mandelöl.

Wahre Ausdehnung des Steinöls und Mandelöls.

Temperatur.	Steinöl		Mandelöl	
	beobachtet.	berechnet.	beobachtet.	berechnet.
0° C.	1,0000000	1,0000000	1,0000000	1,0000000
5	1,0049867	1,0049926	1,0038368	1,0038309
10	1,0099999	1,0100728	1,0075912	1,0074794
15	1,0152258	1,0152250	1,0112978	1,0112472
20	1,0205145	1,0204365	1,0149168	1,0150358
25	1,0257285	1,0256473	1,0188061	1,0188463
30	1,0311123	1,0310006	1,0227388	1,0226799
35	1,0363175	1,0363423	1,0264866	1,0265371
40	1,0416586	1,0417216	1,0303210	1,0304186
45	1,0470849	1,0471401	1,0343019	1,0343149
50	1,0524867	1,0526528	1,0383063	1,0382549
55	1,0581901	1,0581173	1,0423117	1,0422098
60	1,0637544	1,0636942	1,0462057	1,0461884
65	1,0692632	1,0693473	1,0503374	1,0501942
70	1,0751600	1,0750929	1,0543125	1,0542142
75	1,0810406	1,0809505	1,0582537	1,0582592
80	1,0869941	1,0869425	1,0623202	1,0623369
85	1,0929130	1,0930940	1,0662725	1,0664066
90	1,0994586	1,0994335	1,0704031	1,0705054
95	1,1060059	1,1059919	1,0745915	1,0746182
100			1,0787005	1,0787425
105			1,0829626	1,0828659
110			1,0870414	1,0870154
115			1,0911303	1,0911579
120			1,0952836	1,0953002

Für das Steinöl ergab sich die Gleichung:

$$V=1+0,000988588t+0,00000212046t^2-0,00000002676399t^3+0,0000000001950677t^4,$$

nach welcher bei $-71^{\circ},5$ C. ein Maximum der Dichte eintreten würde; und für das Mandelöl:

$$V=1+0,0007445475t+0,0000003134379t^2+0,000000002750899t^3-0,00000000015975079t^4,$$

nach welcher kein Dichtigkeits-Maximum vorhanden.

Unter sonstigen Bestimmungen der Ausdehnbarkeit von Flüssigkeiten verdienen noch die von H. Erman über das Rose'sche Metall und den Phosphor genannt zu werden *), die beide durch hydrostatische Abwägung der Körper in Olivenöl, mit Zugrundlegung der Deluc'schen Angabe der Ausdehnung dieses Oels, erlangt wurden.

Das Rose'sche Metall, eine bei 75° R. schmelzende Legierung von 2 Thl. Wismuth, 1 Thl. Zinn und 1 Thl. Blei, zeigt die Merkwürdigkeit, dass sein Volum von 0° bis 35° R., sowie von 70° bis 160° R. (so weit die Untersuchung ging) nahezu proportional mit der Temperatur wächst, dagegen zwischen 35° und 70° R., bei welchen beiden Temperaturen es fast gleich ist, einen ganz abweichenden Gang befolgt, in dem es bei etwa 56° R. ein Minimum erreicht. Näher wird dies aus folgender Tafel erhellen:

Wahre Volume des Rose'schen Metalls.

Temp.	Volume.	Temp.	Volume.	Temp.	Volume.	Temp.	Volume.
0° R.	1,00000	40° R.	1,00679	75° R.	1,00862	115° R.	1,02529
5	1,00088	45	1,00129	80	1,01792	120	1,02599
10	1,00192	50	0,99480	85	1,01842	125	1,02695
15	1,00326	55	0,99291	90	1,01993	130	1,02784
20	1,00443	56	0,99133	95	1,02105	135	1,02916
25	1,00681	60	0,99389	100	1,02217	140	1,03072
30	1,00803	65	0,99479	105	1,02289	150	1,03277
35	1,00830	70	1,00005	110	1,02395	160	1,03495

Der Phosphor besitzt sowohl im starren als im flüssigen Zustande eine gleichförmige Ausdehnung, aber sie ist im letzteren stärker als im ersteren, und beim Uebergang aus jenem in diesen wächst das Volum plötzlich.

Für das wahre Volum des starren Phosphors von 0° bis 30° R. gilt die Formel:

$$V=1+0,00047485t$$

Für das des flüssigen von 30° bis 70° R.:

$$V'=1,045733+0,00090816(t-30)$$

Bei 30° R. sind demnach die Volume des starren und des flüssigen Phosphors respective: 1,0142455 und 1,045733, das bei 0° gleich Eins.

Die stärkste Ausdehnbarkeit scheinen die durch hohen Druck aus verschiedenen Gasen darstellbaren Flüssigkeiten zu besitzen, vielleicht in Folge der mit Temperaturzunahme so außerordentlich anwachsenden Spannkraft ihrer Dämpfe. Wenn man den Angaben von Thilorier trauen darf **), so besitzt die flüssige Kohlensäure sogar eine

*) Pogg. Ann. Bd. IX, S. 557.

**) Pogg. Ann. Bd. 36, S. 142.

stärkere Ausdehnbarkeit als die gasige, indem sie ihr Volum von 0° bis $+ 30^\circ$ C. in dem Verhältniss 20 : 29 vergrößert. An genaueren Angaben darüber fehlt es noch.

3. Ausdehnung der starren Körper.

Auch die Ausdehnung der starren Körper befolgt, verglichen mit der der Gase, d. h. mit der Temperatur, im Allgemeinen keinen gleichförmigen, sondern einen mit letzterer zunehmend wachsenden Gang; allein die Zunahme des Verhältnisses der Volume zu den Temperaturen ist bei den meisten, namentlich bei denen, die einen hohen Schmelzpunkt haben, sehr gering, so dass man es für ganz bedeutende Temperatur-Intervalle, z. B. für das von 0° bis 100° C., in der Mehrzahl der Fälle ohne Schaden als constant ansehen kann.

Bei den starren Körpern lässt sich die Ausdehnung unter zweierlei Gesichtspunkten auffassen und messen, nämlich in Bezug entweder auf Vergrößerung des Volums oder auf Verlängerung einer Dimension. Die erstere Ausdehnung heisst die körperliche oder kubische, die letztere: die lineare.

Die meisten der starren Körper dehnen sich nach allen Richtungen gleich stark aus. Bei allen diesen steht die körperliche Ausdehnung zu der linearen in einer sehr einfachen Beziehung. Bezeichnet man nämlich sowohl das Volum, als die Länge einer Dimension des Körpers bei 0° mit 1, ferner für eine höhere Temperatur den Volumanzwuchs mit v und den Längenanzwuchs mit l , so ist:

$$1 + v = (1 + l)^3 = 1 + 3l + 3l^2 + l^3,$$

oder, wenn l , wie es bei geringen Temperatur-Differenzen meist der Fall, sehr klein ist, so dass man die höheren Potenzen vernachlässigen kann:

$$1 + v = 1 + 3l \quad \dots \quad (A)$$

Der Anwuchs des Volums ist also das Dreifache des Längenanzwuchses. Hiedurch wird es nun leicht, die eine Ausdehnung aus der andern abzuleiten, und es ist insofern gleichgültig, welche derselben man unmittelbar misst.

Die directe Messung der körperlichen oder vollständigen Ausdehnung macht sich indess nothwendig bei denjenigen Substanzen, die man nicht in großer Masse haben kann. Am einfachsten wird sie folgendermaßen ausgeführt. Man nimmt eine bestimmte Gewichtsmenge von dem zu messenden Körper, bringt sie in eine unten zugeschmolzene Glasröhre, zieht diese oben zu einer kapillaren Spitze, füllt den Zwischenraum mit Quecksilber, setzt dann den Apparat (am besten in horizontaler Lage, und mit der Spitze in Quecksilber getaucht) verschiedenen Temperaturen aus, und bestimmt durch Wägung, wie viel Quecksilber jedesmal zum Füllen erforderlich war.

Ist nun, bei 0° C., V das Volum des Glasgefäßes und nV das des darin eingeschlossenen starren Körpers, so ist das Volum des füllenden Quecksilbers $= V - nV$. Das ist auch der Ausdruck für sein Gewicht, wenn man sein spec. Gew., mit dem man eben genannte Volumen-Differenz zu multipliciren hat, bei $0^\circ = 1$ setzt. Bei anderen Temperaturen t und t' wird das Glasvolum V zu $V(1 + \delta_t)$ und $V(1 + \delta_{t'})$, das Volum nV des starren Körpers zu $nV(1 + \varepsilon_t)$ und $nV(1 + \varepsilon_{t'})$, und das spec. Gewicht des Quecksilbers zu $\frac{1}{1 + \Delta_t}$ und $\frac{1}{1 + \Delta_{t'}}$ wenn, bei den Temperaturen t und t' , $1 + \Delta_t$ und $1 + \Delta_{t'}$ die Volume einer

Quecksilbermasse, deren Volum bei 0° gleich Eins. Bezeichnet man also die bei den Temperaturen t , t' den Apparat füllenden Gewichtsmengen des Quecksilbers mit p und p' , so hat man für deren Verhältniss den Ausdruck:

$$\frac{p}{p'} = \frac{(1 + \delta_t) - n(1 + \varepsilon_t)}{(1 + \delta_{t'}) - n(1 + \varepsilon_{t'})} \cdot \frac{1 + \Delta_t}{1 + \Delta_{t'}}$$

Durch diesen Ausdruck (der, wenn man darin $n = 0$ setzt, identisch wird mit dem S. 608 gegebenen) findet sich nun die Beziehung zwischen $1 + \varepsilon_t$ und $1 + \varepsilon_{t'}$, sobald man die wahre Ausdehnung des Glases und des Quecksilbers kennt *), und überdies die Temperaturen mit einem Luftthermometer gemessen hat. Diese Methode haben Dulong und Petit angewandt **), und dadurch folgende Resultate erhalten:

Temperatur.	Wahre kubische Ausdehnung für 100 Centigrade			Wahre Längen-Ausdehnung für 100 Centigrade		
	Eisen.	Kupfer.	Platin.	Eisen.	Kupfer.	Platin.
von 0° bis 100°	$\frac{1}{252}$	$\frac{1}{194}$	$\frac{1}{377}$	$\frac{1}{845}$	$\frac{1}{582}$	$\frac{1}{1151}$
» 100° » 300°	$\frac{1}{227}$	$\frac{1}{177}$	$\frac{1}{335}$	$\frac{1}{681}$	$\frac{1}{531}$	$\frac{1}{1089}$

Die zweite Hälfte der Tafel ist mittelst der Gleichung (A) aus der ersten abgeleitet. Aus beiden ersieht man, dass die Ausdehnbarkeit der genannten drei Metalle mit der Temperatur zunimmt. Welchen Fehler man begehen würde, wenn man einen Stab von diesen Metallen zum Messen hoher Temperaturen anwenden und dabei die Verlängerungen desselben den Anwüchsen der Temperatur proportional setzen wollte, zeigt folgende Tafel:

Wahre Temperatur.	Temperatur, die angezeigt würde von:		
	Eisen.	Kupfer.	Platin.
100° C.	100°	100°	100°
300° C.	372°,6	328°,8	311°,6

Die lineare Ausdehnung starrer Körper ist viel häufiger als die kubische ein Gegenstand der Messung gewesen, zum Theil wohl deshalb, weil es bei vielen Problemen allein auf sie ankommt. Die dabei angewandten Methoden bestehen gewöhnlich in der mikrometrischen Messung der Verlängerung, welche Stäbe von verschiedenen Substanzen und einer bei 0° bestimmten Länge in höherer Temperatur erfahren. Das Princip dieser Messungen ist also sehr einfach, aber die Vorsichtsmaßregeln, welche erfordert werden, um den Stäben eine gleichförmige und wohl bestimmte Temperatur zu geben, die Krümmung derselben zu verhindern, ihre Verlängerung scharf zu messen, die Maafsstäbe bei unveränderlicher Länge zu erhalten u. s. w., kurz um den Messungen den höchsten Grad von Genauigkeit und Zuverlässigkeit zu verleihen, sind so mi-

*) Wie diese zu finden, ist bereits vorhin gezeigt.

**) Ann. de chim. et de phys. T. VII, p. 145.

nutiös und zahlreich, dass wir sie hier nicht in Detail auseinander setzen können, eben so wenig wie die Methode, mittelst Pendelschwingungen die Ausdehnung starrer Körper zu bestimmen. Wir begnügen uns daher, in nachfolgender Tafel die Hauptresultate der bisherigen Messungen zusammenzustellen *).

Wahre Längenausdehnung starrer Körper.

Länge bei 0° C. = 1,00000000.

Substanzen.	Verlängerung von 0° bis 100° C.		Beobachter.
Antimon	0,00108330	$\frac{1}{923}$	Smeaton.
Blei	0,00288200	$\frac{1}{345}$	Ellicot.
„	0,00286667	$\frac{1}{348}$	Smeaton.
„	0,00287300	$\frac{1}{348}$	Herbert.
„	0,00308600	$\frac{1}{324}$	Berthoud.
„	0,00271900	$\frac{1}{367}$	Morveau.
„	0,00284836	$\frac{1}{351}$	Lavoisier.
„	0,00290200	$\frac{1}{344}$	Horner.
Bronze	0,00181667	$\frac{1}{550}$	Smeaton.
Eis	0,00245120	$\frac{1}{407}$	Heinrich.
Eisen	0,00144600	$\frac{1}{692}$	Ellicot.
„	0,00117200	$\frac{1}{855}$	Herbert.
„	0,00119200	$\frac{1}{838}$	Berthoud.
„	0,00110000	$\frac{1}{909}$	Morveau.
Schmiedeseisen	0,00122045	$\frac{1}{819}$	Lavoisier.
„	0,00125833	$\frac{1}{794}$	Smeaton.
„	0,00115600	$\frac{1}{865}$	Borda.
„	0,00115600	$\frac{1}{865}$	Tralles.
„	0,00114560	$\frac{1}{872}$	Schwerd.
„	0,00111155	$\frac{1}{899}$	Augustin.
„	0,00111545	$\frac{1}{896}$	„
„	0,00112330	$\frac{1}{890}$	„
„	0,00114550	$\frac{1}{872}$	„
„	0,00144600	$\frac{1}{691}$	Hällström.
„	0,00118203	$\frac{1}{846}$	Dulong.
„	0,00116800	$\frac{1}{856}$	Horner.
„ schwach gehämmert	0,00122045	$\frac{1}{819}$	Destigny.
Gusseisen	0,00110940	$\frac{1}{901}$	Roy.
Eisendraht	0,00114010	$\frac{1}{877}$	Troughton.
Glas (engl. Flint)	0,00081166	$\frac{1}{1248}$	Lavoisier.
„ (franz. Flint)	0,00087199	$\frac{1}{1147}$	„
„ weißes	0,00083333	$\frac{1}{1200}$	Smeaton.
„	0,00094400	$\frac{1}{1059}$	Herbert.
„	0,00099100	$\frac{1}{1009}$	Berthoud.
„	0,00086100	$\frac{1}{1161}$	Dulong.
Glasröhre	0,00077615	$\frac{1}{1288}$	Roy.

*) Entlehnt aus Baumgartner's Naturlehre (Supplementband) mit einigen Berichtigungen.

Substanzen.	Verlängerung von 0° bis 100° C.		Beobachter.
Glasröhre, von St. Gobain	0,00089089	$\frac{1}{1122}$	Lavoisier
„ gemeine (bleifrei)	0,00087572	$\frac{1}{1142}$	„
„ andere	0,00089760	$\frac{1}{1114}$	„
„ „	0,00091751	$\frac{1}{990}$	„
„ dünne	0,00092100	$\frac{1}{1085}$	Horner.
„ an 0 ^{'''} ,2 Glasdicke	0,00091300	$\frac{1}{1095}$	„
Glasstab	0,00080787	$\frac{1}{1237}$	Roy.
„	0,00091900	$\frac{1}{1088}$	Horner.
„	0,00092500	$\frac{1}{1081}$	„
Gold	0,00140100	$\frac{1}{713}$	Ellicot.
„	0,00131100	$\frac{1}{762}$	Berthoud.
„	0,00147500	$\frac{1}{677}$	Morveau.
„ feines (de départ)	0,00146606	$\frac{1}{682}$	Lavoisier.
„ nicht gegläht	0,00155155	$\frac{1}{645}$	„
„ gegläht	0,00151361	$\frac{1}{660}$	„
Hartloth, 1 Zink, 2 Kupfer	0,00205833	$\frac{1}{485}$	„
„	0,000352		Struve.
Holz (Tannenholz *)	0,00040833		Kater.
Klempnerloth	0,00250533	$\frac{1}{399}$	Smeaton.
Kohle von Tannenholz	0,0010	$\frac{1}{1000}$	Heinrich.
„ „ Eichenholz	0,0012	$\frac{1}{833}$	„
Kupfer	0,00171000	$\frac{1}{554}$	Ellicot.
„ geschlagenes	0,00170000	$\frac{1}{583}$	Smeaton.
„ „	0,00191880	$\frac{1}{521}$	Troughton.
„ „	0,00179000	$\frac{1}{558}$	Morveau.
„ „	0,00178400	$\frac{1}{560}$	Borda.
„ „	0,00172244	$\frac{1}{581}$	Lavoisier.
„ „	0,00171222	$\frac{1}{584}$	„
„ „	0,00171822	$\frac{1}{582}$	Dulong.
Kupfer 8, Zinn 1	0,00781700		Smeaton.
Marmor von St. Beat.	0,00041810	$\frac{1}{2591}$	Destigny.
„ „ Carrara	0,00084870	$\frac{1}{1178}$	„
„ „ Solst	0,00056849	$\frac{1}{1769}$	„
Messing	0,00182300	$\frac{1}{548}$	Ellicot.
„	0,00193332	$\frac{1}{517}$	Smeaton.
„ Draht	0,00187821	$\frac{1}{552}$	Despretz.
„	0,00188500	$\frac{1}{530}$	Herbert.
„ gegossen	0,00187500	$\frac{1}{553}$	Smeaton.
„ „	0,00193400	$\frac{1}{517}$	Berthoud.
„ „	0,00186671	$\frac{1}{555}$	Lavoisier.
„ „	0,00188971	$\frac{1}{529}$	„
„ (engl. Stab-)	0,00189280	$\frac{1}{523}$	Roy.
„ Hamburger	0,00185540	$\frac{1}{558}$	„
„ (Tyroler Tafel-)	0,00190300	$\frac{1}{525}$	Horner.
Palladium	0,00100000	$\frac{1}{1000}$	Wollaston.
Phosphor (von 0° bis 30° R.)	0,0047485		Erman.

*) In Richtung der Fasern.

Substanzen.	Verlängerung von 0° bis 100° C.		Beobachter.
Platin	0,00085655	$\frac{1}{1167}$	Borda.
„	0,00099180	$\frac{1}{1008}$	Troughton.
„	0,00085700	$\frac{1}{1157}$	Morveau.
„	0,00088417	$\frac{1}{1151}$	Dulong.
„	0,00090000	$\frac{1}{1111}$	Vollaston.
Silber	0,00197800	$\frac{1}{805}$	Ellicot.
„	0,00207000	$\frac{1}{493}$	Herbert.
„	0,00190500	$\frac{1}{524}$	Berthoud.
„	0,00198800	$\frac{1}{503}$	Morveau.
„	0,00208260	$\frac{1}{480}$	Troughton.
„ (Kapellen-)	0,00190974	$\frac{1}{524}$	Lavoisier.
„ „ Pariser	0,00190868	$\frac{1}{524}$	„
Spiegelmetall	0,00193333	$\frac{1}{517}$	Smeaton.
Stahl, gehärtet	0,00122500	$\frac{1}{815}$	„
„ „	0,00137500	$\frac{1}{727}$	Berthoud.
„ „ bei 30° R. angelassen	0,00136900	$\frac{1}{750}$	Lavoisier.
„ „ „ „ „	0,00138600	$\frac{1}{721}$	„
„ „ „ 65° „	0,00123956	$\frac{1}{807}$	„
„ weicher	0,00107500	$\frac{1}{950}$	Ellicot.
„ „	0,00118990	$\frac{1}{840}$	Troughton.
„ „	0,00115000	$\frac{1}{859}$	Smeaton.
„ „	0,00107875	$\frac{1}{927}$	Lavoisier.
„ „	0,00107956	$\frac{1}{925}$	„
„ „	0,00110400	$\frac{1}{905}$	Berthoud.
„ „	0,00114470	$\frac{1}{873}$	Roy.
Stahlstange	0,00116000	$\frac{1}{862}$	Lavoisier.
„ steyrische	0,00115200	$\frac{1}{958}$	Horner.
„ (Huntsman).	0,00107400	$\frac{1}{931}$	„
„ Fischersche aus Schafhausen	0,00111200	$\frac{1}{899}$	„
Stein (zum Bau) von St. Pernon	0,00043027	$\frac{1}{2504}$	Destigny.
„ „ „ „ St. Leu	0,00064890	$\frac{1}{1541}$	„
Töpferzeug, braun englisch	0,00012	$\frac{1}{8355}$	„
„ „ aus Kohle porös gemacht	0,00004	$\frac{1}{25000}$	„
Weichloth, 1 Zinn, 2 Blei	0,00250533	$\frac{1}{399}$	Smeaton.
Wismuth	0,00139167	$\frac{1}{718}$	„
Zink, gegossen	0,00294167	$\frac{1}{359}$	Smeaton.
„ „	0,00305100	$\frac{1}{328}$	Morveau.
„ „	0,00296800	$\frac{1}{557}$	Horner.
„ durch Hämmern $\frac{1}{12}$ verlängert	0,00310833	$\frac{1}{522}$	Smeaton.
Zinkloth, 1 Zinn, 2 Kupfer	0,00205833	$\frac{1}{486}$	„
Zinn, gemeines	0,00248330	$\frac{1}{407}$	„
„ feines	0,00228330	$\frac{1}{458}$	„
„ „	0,00232200	$\frac{1}{450}$	Herbert.
„ „	0,00255700	$\frac{1}{391}$	Berthoud.
„ „	0,00216400	$\frac{1}{462}$	Morveau.
„ „	0,00209300	$\frac{1}{477}$	Horner.
„ von Falmouth	0,00217298	$\frac{1}{450}$	Lavoisier.
„ „ Malacca	0,00193267	$\frac{1}{516}$	„

Die Abweichungen, die sich hier in den Angaben für eine und dieselbe Substanz vorfinden, haben ihren Grund theils in Beobachtungsfehlern (Fehlern sowohl bei der Längenmessung als bei der Temperaturbestimmung *), theils im Mangel an chemischer Gleichheit der Substanzen, theils endlich in Verschiedenheit der physikalischen Beschaffenheit derselben. Substanzen, wie Stahl, Messing, Glas u. s. w. sind niemals von so identischer Zusammensetzung, dass eine Stange der andern vollkommen gleich wäre. Wo es also auf sehr große Genauigkeit ankommt, z. B. bei Pendelbeobachtungen, geodätischen Vermessungen u. s. w., kann man sich nie auf die vorhandenen Angaben verlassen, sondern muss die Ausdehnung bei den angewandten Stäben von Messing, Eisen u. s. w. selbst bestimmen. Ebenso kommt es bei Metallen auf die physikalische Beschaffenheit an, beim Stahl z. B. darauf, welchen Grad Härte derselbe besitzt; bei andern Metallen: ob sie gehämmert, gedreht, gezogen oder bloß gegossen sind. Es scheint fast, dass ein Metall, wenn es durch mechanische Mittel zu einer größeren Dichte gebracht worden ist, eine stärkere Ausdehnung zeigt (wenigstens bei der ersten Erwärmung auf 100°) als im gegossenen Zustande. Beim Eisen scheint sogar, nach Pictet's Beobachtungen, ein plötzlicher Temperatur-Wechsel bleibende Veränderungen im Volum zu erzeugen.

Wie schon erwähnt, ist die Ausdehnung der starren Körper, genau genommen, keineswegs gleichförmig. Es sind jedoch bisher wenig Messungen gemacht, um den Gang der Ausdehnung solcher Körper vollständig zu bestimmen. Dulong und Petit's Angaben lehren nur: dass die Ausdehnbarkeit der von ihnen untersuchten Metalle mit der Temperatur zunimmt; nicht aber: nach welchem Gesetz es geschehe. Die einzigen Untersuchungen hierüber sind von Hällström angestellt, und zwar für Eisen und Glas. Durch Messungen, die bei ersterer Substanz von 0° bis 80° C., bei letzterer von + 3° bis 30° C. gingen, findet er die Länge L bei der Temperatur t ausgedrückt durch die Gleichung:

Für das Eisen (Eisendraht von 0",1 Durchmesser):

$$L = 1 + 0,00000994t + 0,000000024t^2 + 0,000000002t^3$$

Für das Glas (Röhre von Kaliglas):

$$L = 1 + 0,00000196t + 0,000000105t^2$$

Die durch letztere Gleichung ausgedrückte lineare Ausdehnung des Glases fällt bei 60° C. mit der Messung Lavoisier's (derjenigen nämlich einer Glasröhre (von bleifreiem Natronglase) die von 0° bis 100 C. die Verlängerung 0,00087572 ergab) zusammen, giebt aber für Temperaturen darunter, kleinere, und darüber, größere Werthe.

Die Verschiedenheit der Ausdehnung starrer Körper giebt zu vielen alltäglichen Erscheinungen Anlass, kann aber auch aufs Mannigfache zu wissenschaftlichen Zwecken benutzt werden. So lässt sich die lineare Ausdehnung einer starren Substanz durch die einer andern auf folgende von Borda zuerst angewandte Weise finden. Man nimmt zwei Stäbe von den beiden Substanzen, den einen etwas länger als den andern, legt den

*) In der Regel sind die Angaben des Thermometers unmittelbar als Temperaturen genommen, obwohl ein kleiner Unterschied zwischen ihnen besteht. Selten möchte auch wohl die Zuverlässigkeit der Thermometer bis auf 0,1 Grad, geschweige denn auf 0,01 und 0,001 Grad reichen, und doch wäre dies nothwendig, wenn die Werthe dieser Ausdehnung bis in die 7te oder 8te Decimalstelle sicher seyn sollen.

kürzeren so auf den längeren, dass beide mit dem einen Ende genau zusammenfallen und befestigt sie dort auf eine unverrückbare Weise mit einander. Die beiden andern Enden bleiben unverbunden. Bei der ungleichen Ausdehnung beider Substanzen wird sich natürlich der Abstand dieser Enden, d. h. der Längenunterschied beider Stäbe, mit der Temperatur verändern. Wenn also der untere, längere Stab mit einer Theilung versehen ist, auch der obere (der dazu etwas schmaler seyn muss) eine solche besitzt, die als Nonius für die andere dient, so wird man den Längenunterschied beider Stäbe für verschiedene Temperaturen mit Genauigkeit messen können. Sey nun L, l die Länge beider Stäbe bei 0° , ferner L_t, l_t die Länge derselben bei der Temperatur t , und Δ, δ die Verlängerung der Länge Eins für einen Grad. Dann hat man offenbar

$$L_t = L(1 + \Delta t); \quad l_t = l(1 + \delta t)$$

und

$$(L - l) - (L_t - l_t) = t(l\delta - L\Delta) \dots (1)$$

woraus erhellt, dass, wenn man die Längen L und l , sowie die Ausdehnbarkeit Δ kennt, auch den Längenunterschied $(L_t - l_t)$ an der erwähnten Theilung abgelesen hat, dadurch die Ausdehnbarkeit δ der zweiten Substanz gegeben ist. Auf diese Weise bestimmten Dulong und Petit die Ausdehnung des Kupfers mittelst der des Platins, und fanden einen dem früher angegebenen gleichen Werth.

Dies Verfahren lässt sich auch, wie es von Borda geschehen, zur Temperaturbestimmung anwenden. Für den Siedpunkt oder 100° C. hat man nämlich, analog der Gleichung (1)

$$(L - l) - (L_{100} - l_{100}) = 100_0(l\delta - L\Delta)$$

und wenn man jene durch diese dividirt:

$$\frac{(L - l) - (L_t - l_t)}{(L - l) - (L_{100} - l_{100})} = \frac{t}{100_0}$$

woraus die Temperatur t durch den entsprechenden Längenunterschied $(L_t - l_t)$ gefunden wird, wenn die beiden andern den Temperaturen 0° und 100° entsprechenden Unterschiede $(L - l)$ und $(L_{100} - l_{100})$ ebenfalls bekannt sind. Bezeichnet man nämlich, auf dem längeren Stabe die Punkte, welche den Unterschieden $(L - l)$ und $(L_{100} - l_{100})$ entsprechen, respective mit 0° und 100° , theilt den Zwischenraum in 100 gleiche Theile, so erhält man eine Skale, die im Princip und im Gebrauch mit der gewöhnlichen Thermometerskale übereinkommt. Ein solches System von zwei Stäben verschiedener Natur giebt also, wie ein Thermometer, seine eigene Temperatur an, und das war auch der Zweck, welchen Borda bei der Construction desselben beabsichtigte. Es setzt natürlich voraus, dass die Stäbe in ihrer ganzen Länge jedesmal eine und dieselbe Temperatur besitzen.

Verbindet man, statt der Stäbe, dünne Streifen von zwei Metallen miteinander, und zwar entweder der ganzen Länge nach, oder bloß an beiden Enden, so leuchtet ein, dass ein solches System nur so lange gerade bleiben kann, als es die Temperatur behält, bei der es zusammengefügt wurde. Steigt oder fällt die Temperatur, so wird es sich krümmen, und zwar so, dass das stärker ausdehbare Metall im ersten Fall auf der convexen, im letzteren Fall auf der concaven Seite der Krümmung liegt. Ein solches System aus zwei Streifen von verschiedenen Metallen wird also durch seine Krümmung als Anzeige dienen einerseits dafür, welches

von zwei Metallen das ausdehnbarere ist, als andererseits für die Ausmittlung geringer Temperaturunterschiede. Zum ersteren Zweck wird es von Wollaston benutzt; behufs des letzteren hat man eigends Metall- oder Federthermometer (s. Thermometer) construirt.

Sowie man zwei Metalle mit einander verbinden kann, dass die Ungleichheit ihrer Ausdehnbarkeit sichtbarer hervortritt, so kann man auch eine solche Combination zusammensetzen, dass die Ausdehnungen einander aufheben. Darauf beruht die Compensation der Pendel. Den einfachsten Fall einer solchen Compensation stellt die Gleichung (1) S. 640 dar, wenn man annimmt, dass darin $(l\delta - L\Delta) = 0$. Dazu ist nur erforderlich, dass $l : L = \Delta : \delta$, d. h. dass die Längen der Stäbe im umgekehrten Verhältniss der Ausdehnbarkeiten genommen werden. Dann ist der Längenschied derselben für alle Temperaturen constant.

Auch die Ausdehnung eines einzelnen starren Körpers ist mancher Anwendung fähig. Sie dient unter andern zur Ausmittlung hoher Temperaturen (s. Pyrometer) und auch zur Ausübung großer mechanischer Kräfte. Starre Körper, wie Metalle z. B., besitzen nämlich eine außerordentliche Cohäsion und eine geringe Zusammendrückbarkeit, und wiewohl sie in höheren Temperaturen von ersterer etwas verlieren und an letzterer etwas gewinnen, so ist doch die Aenderung beider Eigenschaften nur gering. Wenn sich also bei der Erwärmung irgend ein Körper ihrer Ausdehnung entgegensetzt, so üben sie gegen diesen einen ungeheuren Druck aus, und ebenso wirken sie in umgekehrter Richtung beim Erkalten. Molar hat sogar auf diese Weise auseinander gewichene Mauern zusammengezogen, indem er eiserne Stäbe, die an einen Enden mit Widerhaken und an den anderen mit Schraubenmüttern versehen waren, durch sie legte, dann die Stangen in der Mitte erhitze, und die Schrauben fest anzog. Beim Erkalten zogen nun die Stäbe die Mauern weiter zusammen.

Ausdehnung der Krystalle. Alle homogenen starren Körper, sowie alle zum regelmäßigen System gehörenden Krystalle dehnen sich nach jeder Richtung gleich stark aus, und daher kann man bei ihnen aus der kubischen Ausdehnung die lineare oder jene aus dieser ohne weiteres ableiten. Anders verhält es sich mit denjenigen Krystallen, die nicht zum regelmäßigen System gehören. Bei dieser zahlreichen Klasse von Körpern ist, wie Mitscherlich entdeckt hat, die Ausdehnbarkeit im Allgemeinen ebenso verschieden nach den verschiedenen Richtungen, als es mit der Wirkung auf das polarisirte Licht der Fall ist; ja es treten hier, in Folge sekundärer Wirkungen, sogar Zusammenziehungen bei der Erwärmung ein.

Am genauesten hat Mitscherlich dies für den Kalkspath erwiesen. Für eine Erwärmung von 0° bis 100° C. beträgt, nach der Dulong'schen Methode bestimmt die kubische Ausdehnung $= 0,001961$, die lineare Ausdehnung in Richtung der Hauptaxe $= 0,00286$, während zugleich in den Richtungen der darauf senkrechten Nebenaxen eine Zusammenziehung $= 0,00056$ erfolgt. In Folge dieser Aenderung der Dimensionen wird der stumpfe Winkel des Kalkspathrhomboëders (der bei 10° C. etwa $105^\circ 4', 0$ beträgt) durch dieselbe Erwärmung um $8\frac{1}{2}$ Minuten schärfer, und der scharfe ($74^\circ 54', 15''$) um eine entsprechende Größe stumpfer *).

Um die ungleiche Ausdehnung der Krystalle augenfällig zu machen, braucht man nur, wie Fresnel gezeigt hat, zwei Blättchen von einem Gypskrystall abzulösen und sie mit erwärmten Leim so zusammen zu

*) Pogg. Ann. Bd. 10, S. 137.

kleben, dass ihre Axen sich rechtwinklich kreuzen. Bei Erwärmung findet dann eine Krümmung Statt, wie bei einem System aus zwei Metallfedern verschiedener Natur *). Ein genaueres Mittel liefert die Messung des einspringenden Winkels an Zwillingskrystallen, vermöge der Lichtbilder, die von den beiden in diesem Winkel zusammenstossenden Flächen bei verschiedenen Temperaturen reflectirt werden. Dies Mittel ist von Mitscherlich beim Gyps, Kalkspath, Arragonit, Bitterspath, Schwerspath und anderen Krystallen angewandt **).

P.

Ausdünstung, thierische. Man begreift hierunter die durch die Lungen, und die durch die Haut stattfindende Ausdünstung (Exspiration und Transpiration). Beide Functionen sind Excretionsprocesse, sie haben im Allgemeinen einerlei physiologische Zwecke, nämlich die Aussonderung gewisser Materien aus dem Organismus, und die Regulirung der Wasser- und der Wärmemenge in demselben. Durch die Lungenausdünstung werden aus dem Körper Kohlensäure und Wasser entfernt (s. Athmen), durch die Haut-Ausdünstung ebenfalls Wasser, aber viel weniger Kohlensäure, statt dessen noch einige nicht flüchtige Materien.

Das Organ, durch welches diese Function geschieht, die allgemeine Bedeckung des Körpers, besteht aus der Oberhaut, *Epidermis*, und der Lederhaut, *Corium*, von denen nur die letztere mit Blutgefäßen und Nerven versehen ist. Unter derselben liegt das Fett-Zellgewebe, und hier ist der Sitz von zweierlei Arten von kleinen Drüsen, wovon die einen die fettige, nicht abdunstende Hautschmiere, die anderen, deren kleine Ausführungskanäle in die Poren der *Epidermis* münden, die eigentliche Ausdünstungsmaterie absondern. Diese dunstet bei ruhigem und normalem Zustande des Körpers, ohne sich anzusammeln, in dem Maasse ab, als sie ausgesondert wird (unmerkliche Hautausdünstung); bei vermehrter Absonderung dagegen kommt sie auf der Haut in liquid Form, als Schweiß, zum Vorschein. Uebrigens ist wohl anzunehmen, dass ausserdem ein großer Theil der Hautausdünstung auf dieselbe Weise vor sich gehe, wie die Verdunstung von Wasser durch eine thierische Blase.

Die Ausdünstungsmaterie besteht hauptsächlich aus Wasser mit einer kleinen Menge von Kohlensäure. Als Schweiß angesammelt, enthält sie indessen auch geringe Mengen fester, sich nicht verflüchtigender Materien, die also bei der Abdunstung des Schweißes auf der Haut zurückbleiben. Hält man den nackten Arm bis an die Schulter in einen langen, von Außen abgekühlten Glaszylinder, so erhält man die Ausdünstungsmaterie als klares Wasser condensirt, worin man freie Kohlensäure findet, und welches ausserdem Spuren von essigsaurem Ammoniak enthalten soll. Der Schweiß reagirt sauer, er hat einen schwach säuerlichen Geruch, verschieden bei verschiedenen Individuen, besonders aber modificirt in Krankheiten oder auch nach dem inneren Gebrauch gewisser Medicamente, von denen kleine Mengen durch die Haut wieder ausgesondert werden. An gewissen Stellen des Körpers, namentlich unter den Achselhöhlen, riecht er ammoniakalisch, offenbar in Folge von Ammoniakbildung aus sich zersetzenden Bestandtheilen des Schweißes. Bei manchen Individuen riecht er an gewissen Stellen des Körpers deutlich nach Buttersäure oder ähnlichen flüchtigen fetten Säuren, die wahrscheinlich auch die Ursache des eigenthümlichen Geruchs der Hautausdünstung gewisser Thiere, wie z. B. der Böcke, sind.

*) Pogg. Ann. Bd. 2, S. 110.

**) Pogg. Ann. Bd. 41, S. 213 und 448.

Der Schweiß hinterlässt beim Verdunsten zwischen $\frac{1}{2}$ bis $1\frac{1}{2}$ Procent Rückstand, das Uebrige ist Wasser. Dieser Rückstand bildet eine saure, extractförmige Masse. Man findet darin freie Milchsäure, milchsaure und schwefelsaure Salze von Kali, Natron und Ammoniak, viel Kochsalz, etwas Salmiak, Spuren von phosphorsaurem Kalk und die allgemein im Thierkörper vorkommende unbestimmte organische Materie. Destillirt man Schweiß, so findet man im Destillat auch essigsäures Ammoniak. Sammelt man bei Personen, die wollenes Zeug unmittelbar auf der Haut tragen und stark transpiriren, durch Abreiben mit den Fingern die auf der Haut befindliche weiche Masse, so findet man darin eine freie, nicht flüchtige, extractförmige Säure, ohne Zweifel Milchsäure, ferner die obigen Salze und zweierlei Arten von Fett, ein halb liquides, und ein starres, stearinartiges, welche letzteren aber nicht Bestandtheile des Schweißes, sondern beigemengte Absonderungsproducte der Fettdrüsen sind. Die Hauptmasse besteht aber aus abgeriebener Epidermis. Aehnliche Gemenge von eigentlichen Schweißbestandtheilen und Secreten der Fettdrüsen und abgestoßener Epidermis sind die Materien, die man auf der Haut, z. B. der Pferde und in der Wolle der Schafe abgesondert findet.

Die Quantität von Wasser, die in einer gegebenen Zeit durch die Transpiration aus dem Körper entweicht, ist natürlicherweise sehr verschieden nach den Individuen, nach dem körperlich und geistig ruhigen oder bewegten Zustand, nach dem Gesundheitszustand, nach der Temperatur und hygroskopischen Beschaffenheit der Atmosphäre, nach der Tageszeit, nach der Quantität von genossenem Getränk, nach der Stärke und dem Zustand der Lungen-Ausdünstung und der Harn-Absonderung, welche beide Verrichtungen mit der Haut-Ausdünstung bis zu einem gewissen Grade alterniren. Es ist nicht möglich, in dieser Hinsicht nur eine annähernde Mittelgröße festzustellen. Nach früheren Versuchen soll der durch die Haut-Ausdünstung entstehende Gewichtsverlust des Körpers im ruhenden Zustande in der Stunde zwischen 3 bis 8 Loth betragen. Wie wichtig und nothwendig die Haut-Ausdünstung ist, ersehen wir aus den großen Störungen im Organismus, die durch ihre Unterdrückung, durch plötzliche Abkühlung oder sogenannte Erkältung, entstehen können; wir ersehen sie andererseits bei Krankheiten aus den kritischen Schweißsen, durch welche die Krankheit gehoben wird und wobei ohne Zweifel häufig auf diesem Wege materielle Krankheitsproducte aus dem Organismus entfernt werden, ohne deren Aussonderung der normale Gang der Functionen nicht wieder hergestellt werden könnte. Bei manchen Krankheiten ist die Gegenwart solcher fremder Materien im Schweiß wirklich nachweisbar gewesen. Bei unterdrückter Gallenabsonderung, in der Gelbsucht, hat man den Schweiß von Bestandtheilen der Galle gelb gefärbt beobachtet, bei unterdrückter Harn-Absonderung noch die Haut-Ausdünstung nach Harn, bei Steinbildung in der Blase und bei Gichtkranken beobachtete man auf der Haut an verschiedenen Theilen des Körpers die Absonderung einer krystallinischen Materie, welche Harnsäure enthielt. Wr.

Ausfrieren. Wenn Wasser nur wenig von einer Substanz gelöst enthält, und man setzt es einer nicht zu großen Kälte aus, so scheidet sich in der Regel ein Theil desselben als reines oder fast reines Eis ab, während eine concentrirtere Lösung zurückbleibt. So liefert Meerwasser beim Gefrieren salzfreies Eis. Diese Eigenschaft hat man benutzt, um Salzlösungen, Essig, ja selbst wasserreichen Most oder schwachen Wein theilweise zu entwässern oder ausfrieren zu lassen. P.

Auslaugen. — Aussüßen. — Auswaschen. Diese nahe verwandten Ausdrücke bezeichnen im Allgemeinen jene bei chemischen Arbeiten so häufig vorkommende Operation, deren Zweck es ist, aus einem Gemenge lösliche und unlösliche Antheile von einander zu sondern. Beim Auslaugen, welches seinen Namen von der Darstellung einer Lauge aus Asche durch Behandeln derselben mit Wasser führt, ist in der Regel wohl die Flüssigkeit vorzugsweise Zweck der Operation, während der Rückstand häufig unbenutzt bleibt (Auslaugen der Asche, der Salpetererde, der rohen Soda), doch pflegt man den Ausdruck nicht immer so streng zu nehmen, dass nicht auch solche Operationen damit bezeichnet würden, bei denen das Ausgelaugte besonders in Betracht kommt. Gleiches gilt vom Aussüßen und Auswaschen, wobei, wie in der analytischen Chemie, eben so oft das Ausgewaschene, als die Waschflüssigkeit Gegenstand der Benutzung sind. Zum Auslaugen bedient man sich im Großen der Fässer oder Kästen, aus welchen die Lauge durch verschließbare Oeffnungen abgelassen, und wenn sie noch nicht hinlänglich gesättigt ist, in andere darunterstehende Laugenkästen geleitet wird. Oft haben die Gefäße einen doppelten Boden, wovon der obere durchlöchert und mit Stroh bedeckt ist, um der auszulaugenden Substanz zur Unterlage zu dienen. Bei Operationen im Kleinen laugt man in hohen cylindrischen Gefäßen, Gläsern oder irdenen Töpfen, aus, und entfernt die klare Flüssigkeit nach geschehener Extraction, durch Abgießen, durch einen Heber oder durch Oeffnungen, welche in verschiedener Höhe in den Seitenwänden der Gefäße angebracht sind. (S. Decantiren.) Aehnlich geschieht das Auswaschen von Niederschlägen, die sich leicht absetzen, und bei denen die Waschwässer nicht benutzt werden. Oft aber geschieht es auf Filtrirapparaten, in wollenen oder leinenen Spitzbeuteln, auf mit Papier belegten Sehtüchern, welche durch Tenakel ausgespannt werden, oder auf Filtern. Für analytische Zwecke ist die letztere Operation von größter Wichtigkeit; von ihrer Vollkommenheit hängt häufig alles bei einer Analyse ab. Ist der Niederschlag auf das Filtrum gebracht, und die Flüssigkeit abgelaufen, so bleibt dennoch ein mehr oder minder bedeutender Antheil derselben im Niederschlage zurück. Um dies fortzuschaffen, gießt man Wasser (oder in manchen Fällen Alkohol, verdünnte Säuren, Salmiaklösung etc.) auf das Filtrum, und wiederholt dies nach dem Abfließen, so oft bis (bei Anwendung von Wasser) einige Tropfen des Waschwassers auf Platin ohne Rückstand verdampfen. Doch kann dies Kennzeichen nicht für alle Fälle gelten, denn manche Niederschläge sind in dem Grade auflöslich, dass man den Punkt zu treffen suchen muss, bei welchem sie möglichst ausgewaschen sind, ohne sich indess merklich schon aufgelöst zu haben.

Um den Zweck des Auswaschens vollkommener und schneller zu erreichen, dient die Waschflasche und die Spritzflasche. Unter den verschiedenen Waschflaschen, welche man vorgeschlagen hat, ist die von Berzelius angegebene Construction die zweckmäßigste. An ein weiteres Barometerrohr (Taf. V. Fig. 13), dessen unteres Ende etwas verengt und nach oben gebogen wird, ist zur Seite, nahe an der Ausflussöffnung, jedoch oberhalb der Linie *dd* eine engere Röhre angesetzt. Eine solche Röhre wird nun mittelst eines durchbohrten Korkes auf eine mit Wasser gefüllten Flasche gesetzt, welche in umgekehrter Lage im Filtrirgestell befestigt ist, so dass die Mündung der Röhre sich unter der

Flüssigkeit im Trichter befindet. In dem Maasse als das Wasser außerhalb sinkt, fließt es aus der Flasche nach, während Luft durch die angelegte engere Röhre eindringt. Aehnliche Vorrichtungen wurden angegeben von Haüy (*Poggend. Ann. XVIII. S. 408*) und von L. Gmelin (a. a. O. XLII. 560). Ein anderer wesentlicher Apparat für den Zweck des Auswaschens ist die sogenannte Spritzflasche, in ihrer einfachsten Form ein beliebiges Stöpselglas, durch dessen Kork eine zu einer feinen Spitze ausgezogene Glasröhre gesteckt ist. Indem man in die zum Theil mit Wasser gefüllte Flasche Luft einbläst, und sie dann schnell umwendet, dringt ein Wasserstrahl heraus, welchen man auf die Seiten und den Inhalt des Filters richtet. Bei weitem zweckmäßiger ist jedoch die Einrichtung einer solchen Spritzflasche, wie sie Fig. 15 und 16 zeigt. Die nach unten gebogene Röhre ist vorn zu einer Spitze ausgezogen, und reicht bis fast auf den Boden der Flasche; in die aufwärts gebogene bläst man, und kann auf diese Art die Stärke und Dauer des Wasserstrahls genau reguliren, ohne dass ein Theil desselben, wie dies bei der zuvor erwähnten Einrichtung unvermeidlich ist, die Umgebungen des Filters benetzt. Die Flasche, Fig. 16, dient bei Anwendung von kochendem Wasser, und gewährt mithin gleichfalls eine große Bequemlichkeit. (Siehe Filtriren). R.

Aussaigern. Ein Process, um im Großen das Silber vom Kupfer zu scheiden. Das silberhaltige Kupfer wird mit dem $3\frac{1}{2}$ fachen seines Gewichts von Blei zusammengeschmolzen und die Masse nach dem Erkalten einer nicht bis zu ihrem Schmelzpunkt reichenden Temperatur ausgesetzt. Da die Masse keine chemische Verbindung darstellt, so schmilzt der größte Theil des Bleies für sich, löst das Silber auf, sickert aus, und lässt das Kupfer, ziemlich bleifrei, als eine feste poröse Masse zurück. Vom Blei wird dann das Silber durch Abtreiben (s. dies. Art.) geschieden. Auf ähnliche Weise wird auch das Wismuth aus seinen Erzen gesaigert. Weiteres sehe man unter Saigern. P.

Austrocknen. Das Austrocknen hat entweder zum Zweck, Substanzen von anhängender Feuchtigkeit zu befreien, oder das in ihnen enthaltene gebundene Wasser bei bestimmten Temperaturen zu entfernen. Wie man organische Körper für die Elementaranalyse trocknet, ist bereits beschrieben worden (s. Analyse, organische), und dass die dort angegebenen Vorrichtungen auch für andere Substanzen anwendbar seyen, ergibt sich von selbst. Wir begnügen uns daher, hier nur einiger anderen Apparate, zu demselben Zweck erdacht, zu erwähnen.

Berzelius bedient sich zum Austrocknen des für die Elementaranalysen bestimmten Gemenges im Verbrennungsrohr folgenden Apparates: Das letztere wird in einen verzinneten Blechcylinder *AB* (Taf. V. Fig. 17) gesteckt, und darin mittelst eines durchbohrten Korks befestigt. Dieser Cylinder wird nun in eine sehr geneigte Stellung gebracht, und darin durch den Halter *C* (s. Halter) fixirt; man füllt ihn sodann mit Wasser, und erhitzt dieses durch eine untergesetzte Lampe, deren Arm zugleich das Ende *B* des Cylinders trägt. Das Rohr muss so tief in den Cylinder eingesenkt seyn, dass man das Ende der Füllung sehen kann. Auf den Teller *H* der Luftpumpe schraubt man einen Hahn mit einer Messinghülse auf, in welche die weite und 8 bis 10" lange Glasröhre *F* eingekittet ist. Dieselbe enthält grobgepulvertes Chlorcalcium, welches durch eine Leinwandscheibe an dem Herunterfallen gehindert ist. Von

F geht eine gebogene, und durch Cautschuk beweglich gemachte Röhre aus, während man das ausgezogene Ende des Verbrennungsrohrs so biegt, dass die Spitze in die Cautschukröhre *G* hineinragt. Nachdem man sich vom Dichthalten des Apparats versichert hat, erhitzt man das Wasser im Cylinder zum Kochen, und fängt sehr langsam an zu pumpen, macht aber den Apparat so luftleer als möglich. Die Luft wird sodann sehr langsam wieder eingelassen, und die Operation mehrfach wiederholt. Berzelius evacuirt den Apparat 20 mal, worauf die Masse immer absolut trocken ist.

L. Gmelin hat zu gleichem Zweck folgenden Apparat in Vorschlag gebracht, der seiner Ansicht nach einen schnelleren Erfolg und ein bequemes Abwägen vor und nach dem Trocknen gestattet. Durch die in eine feine Spitze auslaufende mit trockenem Chlorcalcium angefüllte Röhre *a* (Tafel V, Fig. 18) dringt die Luft ein. Die hufeisenförmige Röhre *b c d* besteht aus einem engeren und einem weiteren Stücke, in welches letztere die Röhre *e* eingeschoben ist. Diese, welche Fig. 19 vergrößert darstellt, ist an beiden Enden offen, läuft jedoch am unteren in eine nach oben gebogene enge Spitze aus, so dass von der zu trocknenden Materie, die man in die Röhre schüttet, nichts herausfallen kann. In das untere Ende des weiten Theils der Röhre *b c d*, nemlich bei *c*, ist mit Kleister ein ausgehöhlter Kork geklebt, in welchen das untere Ende von *e* luftdicht passt. Hat man demnach *e* mit seinem gröblich gepulverten Inhalte, den man zu trocknen beabsichtigt, gewogen, so schiebt man es in die Röhre *b c d*, und drückt es mittelst eines hölzernen Stäbchens hinreichend fest in den bei *c* angebrachten Kork, so dass nachher die Luft genöthigt ist, durch die Röhre *e* hindurchzugehen. Der Kessel *f g h* dient als Wasserbad; sein Deckel hat zur Aufnahme der Röhre *b c d* eine Spalte; der übrige Apparat ist hinreichend bekannt. Die Austrocknung erfolgt schnell und gleichförmig, da die trockne Luft durch die ganze Säule des Pulvers hindurchgeht, und nicht bloß darüber hinwegstreicht. Zeigt sich in der Röhre *i k* keine Feuchtigkeit mehr, und nimmt auch die der Röhre *l a b*, so nimmt man den Apparat aus dem Wasserbade, zieht *i k* mit ihrem Stöpsel aus *d* heraus, und dann mittelst einer mit Faden umwickelten platten Drahtzange sehr behutsam die Röhre *e* aus dem Korke, um sie zu wägen; zweckmäfsig würde es sein, sie oben auf einer Seite platt zu machen, damit sie um so weniger von der Zange zerdrückt würde.

Bei diesem Apparat möchte es schwierig seyn, zu verhindern, dass etwas von dem Inhalt von *e*, welcher nicht immer ein grobes Pulver seyn kann, herausfalle, besonders beim Herausziehen der Röhre; ferner, dass die getrocknete Substanz, falls sie sehr hygroskopisch ist, in der offenen Röhre beim Wägen wiederum etwas Feuchtigkeit anzieht. (L. Gmelin in Poggend. Ann. XLII. S. 557).

Eine andere Vorrichtung zum Austrocknen organischer Substanzen hat Brunner beschrieben. Poggend. Ann. XXVI. 501.

Um Substanzen bei einer bis 100° steigenden Temperatur zu trocknen, dient das Wasserbad. (S. dieses.) Um aber die Austrocknung vollständig zu machen, hat Berzelius folgenden Apparat empfohlen: Er besteht aus zwei ungleich großen Kupferkesseln, von welchem der kleinere in dem gröfseren hängt, indem sie oben durch eine Kupferplatte vereinigt sind, welche den Zwischenraum abschließt. In Fig. 19, Tafel V, ist *A B C D* der äufsere, *E F G H* der innere Kessel. Der erste

enthält 75, und der letztere etwa 20 (schwedische) Kubikzoll. In dem Zwischenraum wird Wasser zum Kochen gebracht, welches man durch die Oeffnung bei *A* eingießt, und nach beendigter Operation durch einen Hahn *C* abzapft. *A* ist durch einen Kork verschlossen, durch den ein gebogenes Glasrohr zur Ableitung der Wasserdämpfe geführt ist.

Der innere Kessel wird mit einem passenden Deckel bedeckt, welcher oben den über die Ebene der kreisrunden Bodenplatte sich erhebenden Rand *EF* des Kessels umfasst. In dem Deckel ist eine Oeffnung *K* angebracht, während durch die Wand des äußeren Kessels bei *B* ein Kupferrohr geht, welches sich mitten in dem Raume zwischen beiden Kesseln so biegt, wie es durch *BIG* dargestellt ist, und sich dann in dem Boden des inneren Kessels bei *G* öffnet. Beim Gebrauche setzt man den Apparat auf den Arm einer Weingeistlampe mit doppeltem Luftzuge, legt den zu trocknenden Stoff in den inneren Kessel, und leitet, sobald das Wasser kocht, durch das Rohr *BIG* einen Strom trockner Luft, welche also, auf 100° C. erhitzt, in den kleinen Kessel tritt. Diese Operation geschieht mittelst eines gewöhnlichen doppelten Blasebalgs, wie er am Glasbläsertische angebracht ist; ehe die Luft aber in *BIG* eintritt, muss sie durch ein mit Chlorkalciumstücken gefülltes Gefäß gehen. Die zu trocknende Substanz befindet sich gewöhnlich in einem Tiegel, welchen Berzelius in den inneren Kessel legt, während der Deckel des Tiegels über die Oeffnung bei *G* gestellt ist, schief geneigt gegen die Oeffnung des Tiegels, so dass der Luftstrom in den Tiegel streicht. Letzterer darf nicht sehr stark sein. Nachdem der Tiegel nach beendigter Operation noch im Apparate bedeckt ist, lässt man ihn unter einer Glocke über Schwefelsäure erkalten, und wägt ihn. Wenn die Substanz mittelst dieses Apparats bei 100° getrocknet ist, so kann sie nun, zur Befreiung von chemisch gebundenem Wasser in dem folgenden einer beliebigen höheren Temperatur ausgesetzt werden:

Auf einen Triangel, der von dem Ringe des Arms einer gewöhnlichen Weingeistlampe mit doppeltem Luftzuge getragen wird, stelle man einen Tiegel von Eisenblech (von etwa 1 Litre Inhalt), und in diesem Tiegel befestigt man einen anderen Triangel, so dass, wenn man auf denselben einen Platintiegel setzt, dieser sich ungefähr in der Mitte des eisernen befindet. Auf den Eisentiegel setze man einen Deckel, der im Mittelpunkte ein Loch hat, von solcher Größe, dass man ein Thermometer durchstecken kann. Die Oeffnung, welche dieses Loch rings um das Thermometer lässt, wird geschlossen durch 2 Blechschieber, welche mit passenden Ausschnitten für die Aufnahme des Thermometers versehen sind, und so gegen einander schliessen, dass der eine etwas auf dem andern liegt. Durch Vergrößerung oder Verkleinerung der Flamme kann man es bald dahin bringen, dass das Thermometer den beabsichtigten Grad annimmt, und beliebig lange auf oder wenigstens sehr nahe bei demselben stehen bleibt. Sobald dies erreicht ist, setzt man den Tiegel mit dem zu untersuchenden Stoffe hinein, darauf auch das Thermometer, und zwar mit seiner Kugel so nahe wie möglich an den Tiegel, ohne ihn jedoch zu berühren, und deckt dann den Eisentiegel zu. Für Temperaturen über 200° ist es besser, einen kupfernen oder silbernen Tiegel anzuwenden, weil die Temperatur in einem eisernen bei der geringern wärmeleitenden Kraft des Eisens innerhalb nicht gleichmäßig vertheilt ist.

Berzelius in Poggend. Ann. XXVII. S. 304.

Dieser Apparat ist, mit einigen Modificationen noch bequemer in

der Anwendung. Statt des eisernen Tiegels wählt man ein cylindrisches Gefäß *A*, Taf. V. Fig. 20, von Kupfer mit ebenem Boden, welcher gerade die Größe des größeren Ringes an der Lampe mit doppeltem Luftzuge hat. Die Höhe des Gefäßes beträgt etwas mehr als sein Durchmesser.

In der halben Höhe sind in gleichem Abstände auf der inneren Seite drei Niete *ccc* angebracht, welche einem kupfernen Ring zur Stütze dienen, der einen kleineren concentrisch enthält, um in diesen Tiegel oder Schälchen einzuhängen; diese Ringe und ihre Verbindungsstücke dürfen nicht zu stark gearbeitet sein; auch hat man ihrer mehrere vorrätig, bei denen der innere Ring von verschiedenem Durchmesser ist; Fig. 21 stellt einen solchen Ring besonders dar. Auf das Gefäß passt ein Deckel mit übergreifendem Rande, jedoch nur lose, damit er während des Erhitzens zu jeder Zeit leicht abgenommen werden kann. In diesem Deckel befindet sich zur Seite eine Oeffnung mit aufgebogenem Rande, in welche man einen Kork steckt, durch den ein Thermometer so hindurchgeführt wird, dass die Kugel sich in dem Zwischenraum der beiden Ringe und in gleicher Höhe mit dem untern Theile des hier eingehängten Tiegels befindet. Will man sich von der gleichmäßigen Temperaturvertheilung im Apparate noch besonders überzeugen, so kann man der ersteren gegenüber eine zweite Oeffnung im Deckel anbringen lassen, und durch ein zweites Thermometer die Wärme der anderen Stellen des Apparats messen; doch scheint dies ganz überflüssig zu sein. Für Temperaturen bis 150° setzt man eine kleine Lampe mit einfachem Dochte darunter; für höhere wendet man die Lampe mit doppeltem Luftzuge an, auf deren Ring der Apparat steht. Es ist außerordentlich leicht, jeden Temperaturgrad beliebig lange beizubehalten. Höchst bequem ist das Trocknen der zu wägenden Filter, welche zusammengefaltet in einem Platintiegel darin $\frac{3}{4}$ Stunde bei $120-130^{\circ}$ erhitzt werden. Sie sind dann absolut trocken.

Bischof hat eine Vorrichtung beschrieben, Filter unter der Luftpumpe oder überhaupt über Schwefelsäure zu trocknen. S. Schweigger's Journal Bd. XL. S. 475.

Oft ist man in dem Fall, Substanzen trocknen zu müssen, welche sich in Kugelhöhren befinden, damit sie später in irgend einer Gasart erhitzt werden können. Dies geschieht zweckmäßig in einem Wasser- oder Sandbade, wie Tafel II. Fig. 2. es darstellt. Wenn aber die an die Kugel angesetzten Röhren nicht so gebogen werden können, so kann man sich eines anderen Apparats bedienen. *A* (Tafel V. Fig. 22) ist ein Kasten von Eisenblech mit einem übergreifenden Deckel *B* versehen. An den schmalen Seiten sind 2 Ausschnitte angebracht, welche unten halbkreisförmig gestaltet sind, und zu beiden Seiten einen Falz haben, so dass sie mit kleinen Schiebern bis auf eine runde Oeffnung geschlossen werden können, durch welche die beiden Röhren hindurchgehen. Auf der einen Seite des Deckels befindet sich eine Oeffnung mit einem Rande, worin ein Kork und ein Thermometer befestigt werden, dessen Kugel der Kugel des Apparats möglichst nahe steht. Um bei ungleicher Größe der letzteren dies zu erreichen, ist der etwas grobe Kork nicht im Mittelpunkt sondern etwas zur Seite durchbohrt, so dass man durch Drehen desselben die Stellung des Thermometers ändern kann. Der Kasten wird auf eine Spirituslampe gesetzt, und während dessen durch die Kugelhöhren ein Strom trockner Luft geleitet, in dem man die Röhre *a* mit einem Chlorcalciumrohr, und dies mit dem Brunnerschen

Aspirator verbindet, der für solche Zwecke vortreflich ist, während man an *b* gleichfalls ein Chlorcalciumrohr und jenseits eine kleine Glasröhre anfügt, damit die hindurchgehende Luft trocken sey. Beim Wägen verschließt man *a* und *b* mit kleinen Korken. R.

Auswittern (Ausblühen). Diesen Ausdruck gebraucht man, um das Krystallisiren von Salzen auf der Oberfläche fester Körper zu bezeichnen, in denen sie oft weiter nicht sichtbar sind. So wittern salpetersaures Kali, kohlenaures Natron, schwefelsaure Talkerde u. s. w. aus dem Boden oder aus Gesteinen, aus Mauern; schwefelsaure Thonerde aus Alaunschiefer und Alaunerde, schwefelsaures Eisenoxydul aus Eisenkiesen u. s. w. B.

Auswurfmaterie — nennt man Producte, welche bei gewissen krankhaften Zuständen in den Respirationsorganen, namentlich in der Luftröhre und den Lungen, abgesondert und durch den Mund ausgeworfen werden. Sie können aus verschiedenen Materien bestehen, am häufigsten aus Blut, Schleim oder Eiter. Das Nähere hierüber s. bei Schleim und Eiter. Wr.

Ausziehen, s. Extrahiren.

Automolith s. Gahnit.

Aventurin s. Quarz.

Avivage (Aviviren, Schönen), wird ein Process genannt, bei welchem die Farben der Zeuche durch eine letzte Behandlung mit gewissen Agentien erhöht, d. h. lebhaft gemacht, oder aber nüancirt werden. Man nimmt bei diesem Prozesse die gefärbten Zeuche durch eine sehr verdünnte Lösung (durch ein sehr verdünntes Bad) der Körper, welche die beabsichtigte Veränderung zu bewirken im Stande sind. Es ist klar, dass nach der Natur des Farbestoffes und nach der Art der gewünschten Veränderung die hierzu anwendbaren Körper sehr verschieden seyn werden. Bald sind es Alkalien, z. B. Ammoniakflüssigkeit, Kalkwasser, kohlenaures Natron, oder die alkalisch wirkende Seife (diese besonders häufig), bald Salze, z. B. Alaun, Zinnchlorid, Chlorkalk, welche man benutzt, bald endlich reicht schon eine erhöhte Temperatur, der man die Zeuche in einem Dampfapparate (Avivirkessel) aussetzt, zur Erreichung des Zweckes hin (s. Färbekunst). O.

Axe, ein Wort von mannigfaltiger Bedeutung. In physikalischem Sinne bezeichnet es gewöhnlich eine Linie oder Richtung, die von andern Linien oder Richtungen durch Symmetrie der Lage oder andere Eigenthümlichkeiten ausgezeichnet ist. So bei den Krystallen, wo man krystallographische, optische, thermische Axen unterscheidet (s. Krystall und Krystallographie). P.

Axinit (Thumerstein; Thumit. — Axinite. — Thumerstone). Ein Mineral, dessen Krystalle sich auf eine sehr flache, schiefe rhomboëdische Säule beziehen lassen, deren Seitenflächen sich unter $115^{\circ} 17'$ und deren Endflächen sich zu den verschiedenen Seitenflächen unter Winkeln von $135^{\circ} 10'$ und $134^{\circ} 40'$ neigen; es kommt jedoch auch massig mit schalig-körnigem Gefüge vor. Es ist durchsichtig bis durchscheinend, glasglänzend, vioüblau und schmutzig- bis nelkenbraun, selten hellgelb und weißlich, hat ein specifisches Gewicht = 3,27, ist härter als Feldspath und giebt daher am Stahle Feuer. Vor dem Löthrohre schmilzt es, bei gutem Feuer, zu grünlichgrauem Glase. Nach dem