Zur Kenntnis einiger physikalischer Eigenschaften von Elementen und einfachen Verbindungen.

Von W. HERZ.

Die Systematik der Eigenschaften von Elementen und Verbindungen beruht immer auf dem periodischen System. So wunderbar die Klassifizierung des Verhaltens der Stoffe im allgemeinen nach diesem Prinzip gelingt, so ist doch andererseits die Tatsache bemerkenswert, daß bei fast allen Eigenschaften gewisse einzelne Unstimmigkeiten in der Reihenfolge auftreten, und daß das Steigen oder Fallen der Eigenschaftswerte in verschiedenen Gruppen des Systems unregelmäßig wechselt. Am meisten studiert sind diese Störungen bei den Atomgewichten selbst, und über die Umkehrung mancher Atomgewichte wie Jod-Tellur oder Argon-Kalium hat sich eine ganze Literatur gebildet. Erst durch die auf der Entwicklung der Radioaktivität begründete Auffassung über die isotopischen Elemente oder Elementplejaden — vornehmlich durch FAJANS und SODDY — ist diese letztere Erscheinung unserem Verständnis näher gerückt worden. Inwieweit andere Differenzen bei physikalischen Eigenschaften auch auf die komplexe Natur der Elemente zurückgeführt werden können, ist noch wenig diskutiert; im allgemeinen sind ja die Eigenschaften der Komponenten einer Plejade so übereinstimmend, daß Unterschiede nicht auftreten, doch werden vielleicht bei manchen Qualitäten, die direkt von der Masse abhängen, Abweichungen nachweisbar werden.¹ Für die Betrachtung der Eigenschaftsunstimmigkeiten im Sinne des periodischen Systems sind weiterhin wahrscheinlich, wenigstens soweit feste Elemente in Betracht kommen, auch die zahlreichen Untersuchungen über die Metastabilität der Metalle von größter Bedeutung, die E. COHEN mit seinen Schülern ausgeführt hat und die beweisen, daß das Auftreten mehrerer Modifikationen viel häufiger ist als man früher annahm.

Wenn auch die Tatsache gewisser Unregelmäßigkeiten im periodischen System längst wohl bekannt ist, so erscheint es viel-

¹ K. FAJANS, *Zeitschr. Elektrochem.* **20**, 459.

leicht nicht ganz unnötig, eine Reihe solcher Erscheinungen einmal zusammenhängend darzustellen, da — soweit ich weiß — in den üblichen Lehrbüchern auf diese Verhältnisse nur ganz allgemein kurz hingewiesen wird, und selbst das tüchtige Buch von RUDORF¹ über das periodische System ist für diese Fälle nicht ausführlich genug. Außerdem lassen sich bei dieser Behandlung eine ganze Anzahl von Berechnungen angeben, die wenigstens zum Teil gerade für Elemente und einfache Verbindungen noch nicht bekannt sind, während ein anderer Teil der kritischen Nachprüfung bedarf.

Zuerst will ich mit der Aufzählung der normalen Siedepunkte bei 760 mm Druck beginnen; im nachfolgenden stehen unter t die Temperaturen in gewöhnlicher und unter T die Werte in absoluter Zählung.

Nullte Gruppe			Erste Gruppe		Zweite Gruppe			
	t	T		t	T		t	T
He	-268.71	4.29	Li	über 1400	1673	Zn	929.6	1202.6
Ar	-186.1	86.9	Na	877.5	1150.5	Cd	778	1051
Kr	-151.7	121.3	K	757.5	1030.5	Hg	357.25	630.25
Xe	-109.1	163.9	Rb	696	969			
			Cs	670	943			
			Vierte Gruppe					
				t	T			
			Sn	2270	2543			
			Pb	1525	1798			
Fünfte Gruppe			Sechste Gruppe		Siebente Gruppe			
	t	T		t	T		t	T
N	-195.67	77.33	O	-182.8	90.2	F	-187	86
P	287.3	560.3	S	445	718	Cl	-33.6	239.4
As	616	889	Se	690	963	Br	63	336
Sb	1440	1713	Te ²	1390	1663	J	184.35	457.35
Bi	1420	1693						

Die Betrachtung dieser Zahlen lehrt, daß in jeder Gruppe entweder regelmäßiges Steigen oder Fallen der Siedepunkte stattfindet, mit einziger Ausnahme des Antimons, dessen Siedepunkt nach der neuesten Angabe von GREENWOOD³ zwischen den Siedepunkten von Arsen und Wismut liegen soll. Man findet, daß in den Gruppen der Metalloide (nullte, fünfte, sechste, siebente Gruppe) die Siedepunkte mit wachsendem Atomgewicht steigen und bei den Gruppen der Metalle (erste, zweite, vierte Gruppe) ebenso sinken. Vielleicht — falls nicht etwa Versuchsfehler vorliegen — beruht auf diesem Verhalten die ebenerwähnte Anomalie Antimon-Wismut; bei den

¹ Hamburg und Leipzig 1904.

² Bei diesem Siedepunkte fehlt die Angabe des Druckes.

³ *Proc. Roy. Soc., Ser. A.* 82, 396.

vier ersten Gliedern hat man gemäß der Metalloidnatur Zunahme der Siedepunkte; das stärkste metallische Glied der Reihe, das Wismut, zeigt entsprechend den anderen Metallfamilien ein Absinken.

Die Siedepunkte von Kupfer, Silber, Gold sind auch noch in der Literatur angegeben; ich habe sie aber hier nicht verwertet, da die von verschiedenen Autoren gemachten Siedepunktangaben untereinander so große Differenzen aufweisen, daß bei den an und für sich für die drei Metalle nicht sehr erheblichen Unterschieden ein Vergleich unmöglich scheint.

Sollen die Siedepunkte der Elemente in der Weise nebeneinander gestellt werden, wie die Atomgewichte aufeinanderfolgen, so reichen die angeführten Zahlen nur zu einer Veranschaulichung der auf der rechten und linken Seite des Systems stehenden Grundstoffe aus, während die Mittelglieder fehlen, und man hat (Siedepunkte in absoluter Zählung)

He	4.29	Li	1673	...	N	77.33	O	90.2	F	86
Ne	—	Na	1150.5	...	P	560.3	S	718	Cl	239
A	86.9	K	1030.5	...	As	889	Se	963	Br	336
Kr	121.3	Rb	969	...	Sb	1713	Te	1663	J	457.35
Xe	163.9	Cs	943	...						

Von links ausgehend steigen die Siedepunkte und erreichen wahrscheinlich in der Mitte ihr Maximum, wo die Elemente Bor, Kohlenstoff, Silicium, Titan usw. stehen, deren Siedetemperaturen nicht bestimmt sind; dann fallen die Siedepunkte wieder. Vergleichen wir jedoch die Siedepunkte der Stickstoff-Sauerstoff-Fluorreihen, so ist eine regelmäßige Periodizität nicht zu erkennen.

Außer den Siedepunkten bei Atmosphärendruck sind auch bei manchen Elementen noch die Siedepunkte bei anderen Drucken bekannt, und daraus läßt sich die Regel von RAMSAY berechnen, wonach das Verhältnis der zu gleichen Drucken gehörigen Siedepunkte in absoluter Zählung für analoge Stoffe konstant sein soll. Die annähernde Gültigkeit dieser Beziehung für einzelne Gruppen des Systems erweist die nachfolgende Übersicht:

Nullte Gruppe	T_1 bei 41000 mm	T_2 bei 760 mm	$T_1 : T_2$
A	155.6	86.9	1.790
Kr	210.5	121.3	1.735
Xe	287.75	163.9	1.756
Zweite Gruppe	T_1 bei 760 mm	T_2 bei 100 mm	$T_1 : T_2$
Zn	1202.6	1031	1.167
Cd	1051	909	1.160
Hg	630.25	533	1.182

Vierte Gruppe

	T_1 bei 760 mm	T_2 bei 258 mm	$T_1 : T_2$
Sn	2543	2373	1.071
Pb	1798	1693	1.062

Fünfte Gruppe

	T_1 bei 760 mm	T_2 bei 334 mm	$T_1 : T_2$
N	77.33	71.2	1.087
P	560.3	482	1.163
As	889	842	1.054

Sechste Gruppe

	T_1 bei 760 mm	T_2 bei 250 mm	$T_1 : T_2$
O	90.2	81	1.113
S	718	652.4	1.100

Siebente Gruppe

	T_1 bei 760 mm	T_2 bei 150 mm	$T_1 : T_2$
Cl	239.4	209	1.145
Br	336	290	1.159
J	457.35	402	1.139

Siedepunktsgesetzmäßigkeiten müssen ebenso wie bei den Elementen auch bei analogen Verbindungen erscheinen; in meiner Auswahl habe ich mich der Übersichtlichkeit wegen auf die Wiedergabe der Siedetemperaturen in gewöhnlicher Zählung beschränkt.

Erste Gruppe

Cu_2Cl_2	954—1032
Cu_2Br_2	861— 954
Cu_2J_2	751— 772

Zweite Gruppe

CaBr_2	806—812		
CaJ_2	708—719		
ZnCl_2 730	CdCl_2 861—954	*HgCl_2 303	Hg_2Cl_2 383.2
ZnBr_2 650	CdBr_2 806—812	*HgBr_2 315	Hg_2Br_2 340—350
	CdJ_2 708—719	*HgJ_2 349	Hg_2J_2 310

Dritte Gruppe

BF_3	— 101	
BCl_3	17	AlCl_3 182.7
BBr_3	90.5	AlBr_3 260
BJ_3	210	AlJ_3 350

Vierte Gruppe

	PbCl_2 861—954	SnCl_2 603.25	
	PbJ_2 861—954	PbCl_2 861—954	
CHCl_3 61.2	CCl_4 76.5		
*SiHCl_3 33	*SiCl_4 56.5	SiJ_4 290	
GeHCl_3 72	TiCl_4 136.41	TiJ_4 über 360	
	*GeCl_4 86	GeJ_4 350—400	
	SnCl_4 114	*SnJ_4 295	
C_2H_6 — 84.1			
Si_2H_6 52	SiHF_3 — 80.2		
SiCl_4 56.5	SiHCl_3 33	SiCl_4 56.5	SiBr_4 153.5
SiBr_4 153.5	SiHBr_3 109	Si_2Cl_6 146	Si_2Br_6 ca. 240
SiJ_4 290	SiHJ_3 220	Si_3Cl_8 215	
TiF_4 284	TiCl_4 136.41	TiBr_4 230	TiJ_4 über 360
*SnF_4 705	SnCl_4 114	SnBr_4 201	SnJ_4 295

Fünfte Gruppe

VF ₅	111.2	NbF ₅	217—220	TaF ₅	229.2		
		NbCl ₅	240.5	TaCl ₅	241.6		
				TaBr ₅	ca. 320		
		*NH ₃	— 33.5				
		PH ₃	— 86.4				
		AsH ₃	— 54.8				
		SbH ₃	— 17				
PF ₃	— 95	AsF ₃	63				
PCl ₃	75.95	AsCl ₃	130.2	SbCl ₃	223.5	BiCl ₃	447
PBr ₃	172.9	AsBr ₃	221	SbBr ₃	280	BiBr ₃	453
		AsJ ₃	394—414	SbJ ₃	414—427		
PF ₅	— 75	AsF ₅	— 53	SbF ₅	149—150		
PBr ₅	106						

Sechste Gruppe

*OH ₂	100	O ₂ C	— 79				
SH ₂	— 61.8	S ₂ C	46.25				
SeH ₂	— 41						
TeH ₂	0						
SOCl ₂	78.8	SCl ₂	59	SO ₂ Cl ₂	69.1		
SeOCl ₂	179.5	TeCl ₂	324	CrO ₂ Cl ₂	115.9		
*MoF ₆	35	MoCl ₅	268	MoOF ₄	180		
WF ₆	19.5	WCl ₅	275.6	WOF ₄	185—190		
UrF ₆	56						

Siebente Gruppe

*FH	19.5
ClH	— 82.9
BrH	— 68.7
IH	— 35.7

Diese Zahlen erweisen, daß bei den Siedepunkten homologer Verbindungen zahlreiche Regelmäßigkeiten auftreten, die sich in der hier gewählten Schreibweise sowohl von oben nach unten als auch von links nach rechts verfolgen lassen; doch sind allgemeine Gesetzmäßigkeiten nicht angebbar. So können die Siedepunkte verschiedener Haloide eines Elements mit wachsendem Atomgewicht des Halogens steigen oder fallen, und andererseits, während SnF₄ einen höheren Kochpunkt als TiF₄ besitzt, liegt der Siedepunkt von SnCl₄ niedriger als der von TiCl₄; sogar die Reihenfolge der Siedepunkte von Merkuro- und Merkurihaloiden ist umgekehrt. Außerdem erscheinen innerhalb verschiedener Gruppen einzelne Unstetigkeiten, indem die Siedepunkte mancher Verbindungen herausfallen, was durch Sternchen an den Formeln angedeutet ist. Besonders auffällig ist die Siedepunktsanomalie bei HF und H₂O, was man bekanntlich durch Polymerisation dieser Flüssigkeiten im Gegensatz zu ihren Homologen zu erklären versucht hat. Inwieweit andere ähnliche Anomalien eine entsprechende Auffassung zulassen, ist nicht bekannt.

Auch für einige der hier erwähnten Verbindungen läßt sich die RAMSAYsche Regel berechnen und ihre Gültigkeit feststellen:

Zweite Gruppe

	T_1 bei 760 mm	T_2 bei 3 mm	$T_1 : T_2$
HgCl ₂	576	425	1.355
HgBr ₂	588	435	1.351
HgJ ₂	622	450	1.382

Vierte Gruppe

	T_1 bei 760 mm	T_2 bei 50 mm	$T_1 : T_2$
CCl ₄	349.5	280.5	1.245
SiCl ₄	329.5	264	1.248
GeCl ₄	359	284	1.264
SnCl ₄	387	312.6	1.238

Fünfte Gruppe

	T_1 bei 760 mm	T_2 bei 235 mm	$T_1 : T_2$
NH ₃	239.5	219	1.093
PH ₃	186.6	167	1.118

Sechste Gruppe

	T_1 bei 760 mm	T_2 bei 9120 mm	$T_1 : T_2$
OH ₂	373	461.6	0.808
SH ₂	211.2	278	0.760
SeH ₂	232	303.8	0.760
	T_1 bei 760 mm	T_2 bei 42.5 mm	$T_1 : T_2$
O ₂ C	194.8	163	1.195
S ₂ C	319.2	253	1.261

Siebente Gruppe

	T_1 bei 760 mm	T_2 bei 138 mm	$T_1 : T_2$
ClH	190.1	163	1.164
BrH	204.3	172	1.186
JH	237.3	204.5	1.159

Nach GULDBERG¹ soll der Siedepunkt in absoluter Zählung etwa zwei Drittel von der kritischen Temperatur betragen. Danach müssen dieselben Beziehungen wie bei den Siedepunkten auch bei den kritischen Temperaturen erscheinen. In der folgenden Tabelle stehen unter t_k die kritischen Temperaturen in gewöhnlicher Zählung, unter T_k die entsprechenden absoluten Werte und unter $T_s : T_k$ (T_s gleich Siedetemperaturen in absoluter Zählung) die Quotienten, welche nach GULDBERG zwei Drittel betragen sollen. In zwei Beispielen konnten auch die kritischen Drucke unter p_k beigefügt werden.

Elemente:				
Nullte Gruppe	t	T_k	$T_s : T_k$	p_k
He	> -268	> 5	—	2—3
Ne	< -205	< 68	—	29
A	-117.4	155.6	0.56	52.9
Kr	- 62.5	210.5	0.58	54.3
Xe	14.7	287.7	0.58	57.2

¹ Zeitschr. phys. Chem. 5, 374.

Siebente Gruppe	t	T_k	$T_s : T_k$	p_k
Cl	146.0	419	0.58	
Br	302.2	575.2	0.58	
J	512	785	0.58	
Verbindungen:				
Vierte Gruppe	t	T_k	$T_s : T_k$	p_k
CCl ₄ . . .	285.3	558.3	0.60	
*SiCl ₄ . . .	230	503	0.65	
*TiCl ₄ . . .	358	631	0.57	
*GeCl ₄ . . .	276.9	549.9	0.65	
SnCl ₄ . . .	318.7	591.7	0.65	
Fünfte Gruppe	t	T_k	$T_s : T_k$	p_k
*NH ₃ . . .	131.0	404	0.59	
PH ₃ . . .	52.8	325.8	0.57	
PCl ₃ . . .	285.5	558.5	0.62	
AsCl ₃ . . .	356.0	629.0	0.64	
Sechste Gruppe	t	T_k	$T_s : T_k$	p_k
O ₂ C . . .	30.92	303.92	0.64	
S ₂ C . . .	271.8	544.8	0.59	
*OH ₂ . . .	374	647	0.58	217.5
SH ₂ . . .	100	373	0.56	88.7
SeH ₂ . . .	138.0	411	0.56	91.0
Siebente Gruppe	t	T_k	$T_s : T_k$	
ClH . . .	52.3	325.3	0.58	
BrH . . .	91.3	364.3	0.56	
JH . . .	150.7	423.7	0.56	
Cl ₃ P . . .	285.5	558.5	0.62	
Br ₃ P . . .	441.0	714	0.62	
Cl ₄ Si . . .	230	503	0.65	
Br ₄ Si . . .	383	656	0.65	

Die Zahlen unter $T_s : T_k$ beweisen die annähernde Richtigkeit der GULDBERG'schen Regel, die bei genauem Zutreffen 0.66 liefern müßte; in Wirklichkeit sind die Quotienten etwas kleiner.

Innerhalb jeder Gruppe steigen im allgemeinen die kritischen Temperaturen mit wachsendem Atomgewicht; nur bei NH₃ ist die kritische Temperatur höher als bei PH₃. Das H₂O fällt mit seiner kritischen Temperatur aus der Reihe, und ebenso zeigen sich Unstetigkeiten bei den Chlorverbindungen der vierten Gruppe, was ganz entsprechend auch bei den Siedepunkten zu beobachten war. Die Reihenfolgen der kritischen und Siedetemperaturen sind gleich.

In den beiden Fällen, wo die kritischen Drucke angebbar waren, wachsen diese mit größerem Atomgewicht; nur das Wasser bildet eine Ausnahme.

In naher Beziehung zu den Siedetemperaturen stehen die Ver-

dampfungswärmen; doch ist das hier vorhandene Material leider sehr gering, so daß ich nur wenige Zahlen anführen kann (λ Verdampfungswärme in Kalorien für 1 kg Substanz):

	λ		λ
Cl	67.4	OH ₂	535.77
Br	45.6	SH ₂	135.8
J	ca. 23.95	—	—
—	—	PCl ₃	51.42
ClH	105.5	AsCl ₃	44.46 (berechnet)
BrH	51.4		
JH	38.7		

Die Verdampfungswärmen fallen mit steigendem Atomgewicht. Da bekanntlich die Verdampfungswärmen den molekularen Siedepunktserhöhungen E nach der Gleichung

$$E = \frac{R T^2}{\lambda}$$

umgekehrt proportional sind, so müssen die ebullioskopischen Konstanten mit dem Atomgewicht steigen.

	E		E		E		E
Cl	1.65	ClH	0.64	OH ₂	0.52	PCl ₃	4.66
Br	5.2	BrH	1.50	SH ₂	0.63	AsCl ₃	7.25
J	11.0	JH	2.83				

Für diese Elemente und einfachen Verbindungen läßt sich die Regel von TROUTON berechnen, wonach die molekulare Verdampfungswärme λM dividiert durch die Siedetemperatur in absoluter Zählung T konstant (gleich 20—22) sein soll; die von NERNST revidierte Formel

$$\frac{\lambda M}{T} = 9.5 \log T - 0.007 T$$

schließt sich den Versuchen gut an.

	λ	M	T	$M\lambda: T$	$9.5 \log T - 0.007 T$
Cl	67.4	70.92	239.4	20.0	20.9
Br	45.6	159.84	336	21.69	21.65
ClH	105.5	36.47	190.1	20.24	20.32
BrH	51.4	80.93	204.3	20.36	20.52
JH	38.7	127.93	237.3	20.86	20.90
*OH ₂	535.77	18.016	373	25.89	21.82
SH ₂	135.8	34.09	211.2	21.92	20.60
PCl ₃	51.42	137.42	348.95	20.24	21.71

Innerhalb jeder Gruppe des periodischen Systems steigt der TROUTONSche Quotient mit dem Atomgewicht, entsprechend dem Wachsen der Siedetemperaturen, worauf von NERNST¹ eingehend

¹ Gött. Nachr. 1906, Heft 1.

aufmerksam gemacht worden ist; nur das Wasser mit seinem abnormen Siedepunkte und seinem Polymerisationszustande fällt heraus. Die anderen Flüssigkeiten sind nicht assoziiert.

Zahlreich sind die Angaben über die Schmelzpunkte der Elemente, die ich unter t in gewöhnlicher und unter T in absoluter Zählung anführe.

Nullte Gruppe		t	T
	A	-187.9	85.1
	Kr	-169	104
	Xe	-140	133
Erste Gruppe		t	T
a)	Li	186	459
	Na	97.5	370.5
	K	62.5	335.5
	Rb	38.5	311.5
	Cs	26.5	299.5
	b)	Cu	1084.1
		*Ag	961.5
		Au	1064
			1357.1
			1234.5
			1337.1
Zweite Gruppe		t	T
a)	*Be	>960	>1233
	Mg	650	923
	Ca (unrein)	780	1053
	Sr	ca. 800	1073
	Ba	850	1123
	b)	Zn	419.4
		Cd	321.7
		Hg	-39.44
			692.4
			594.7
			233.56
Dritte Gruppe		t	T
a)	B	sehr schwer schmelzbar	
	Al	658	931
	b)	Ga	30.15
		In	154
		Tl	303.7
			303.15
			427
			576.7
Vierte Gruppe		t	T
	C	sehr schwer schmelzbar	
	*Si unrein	1425	1698
	Ti	1800—1850	2073—2123
	*Ce	623	896
	Th	1690	1963
	Ge	958	1231
	Sn	231.83	504.83
	*Pb	327.43	600.43
Fünfte Gruppe		t	T
a)	N	-210.52	62.48
	P	44.0	317
	As	über 800	1073
	Sb	630.71	903.71
	Bi	271.5	544.5
	b)	Vd	1680
		Nb	1950
		Ta	2850
			1953
			2223
			3123
Sechste Gruppe		t	T
a)	O	-227	46
	S	119	392
	Se	217	490
	Te	455	728
	b)	Cr	1513
		Mo	2550
		W	3000
			1786
			2823
			3273

Siebente Gruppe	<i>t</i>	<i>T</i>
F	-233	40
Cl	-102	171
Br	-7.3	265.7
J	113.4	386.4

Schmelzpunktsregelmäßigkeiten sind deutlich vorhanden, doch treten auch mancherlei Unstetigkeiten auf. Innerhalb jeder Gruppe heben sich die Haupt- und Nebenreihe voneinander ab. Neigung zum Steigen der Schmelzpunkte mit wachsendem Atomgewicht besteht durchgängig bei den Metalloiden (analog wie bei den Siedepunkten) in Gruppe Null, Fünf a bei den ersten drei Gliedern, Sechs a und Sieben, während das Schmelzpunktsverhältnis von Kohlenstoff und Silicium unbestimmt bleibt. Für die metallischen Reihen läßt sich keine Grundlage für fallende oder sinkende Schmelzpunkte erkennen; man kann nur sagen, daß in den Metallreihen Eins a und Zwei b die Schmelzpunkte (ebenso wie die Siedepunkte) fallen, und daß in Gruppe Fünf a Steigen und Sinken der beiden Temperaturpunkte eine ähnliche Tendenz aufweisen; dagegen variieren die Schmelz- und Siedepunkte von Zinn und Blei in umgekehrter Richtung. Einzelne herausfallende Schmelzpunkte sind in der Zusammenstellung durch Sternchen bezeichnet.

Die Tatsache, daß die Reihenfolge der Schmelz- und Siedepunkte der Elemente im allgemeinen in gleicher Richtung verläuft, legt den Gedanken an eine bestimmte Abhängigkeit zwischen diesen beiden Größen nahe, und in der Tat ist von H. FRITZ¹ die Annahme ausgesprochen worden, daß das Verhältniß von Schmelzpunkt zu Siedepunkt in absoluter Zählung immer den Wert

$$1 : 1.2$$

$$\text{oder } 1 : 1.8 = \frac{3}{2} \cdot 1.2$$

$$\text{oder } 1 : 2.7 = \frac{3}{2} \cdot 1.8$$

haben soll; doch ist diese Angabe zweifellos unhaltbar, und auch die einfachere Vorstellung, daß der Quotient der beiden Temperaturen innerhalb einer Gruppe konstant ist oder eine einfache Reihe bildet, zeigt vielerlei Unstetigkeiten, wenn auch ein gewisser Zusammenhang unter den Quotienten nicht zu verkennen ist.

	Schmelzpunkt in absoluter Zählung	Siedepunkt	Quotient
A	85.1	86.9	1 : 1.02
Kr	104	121.3	1 : 1.17
Xe	133	163.9	1 : 1.23

¹ Monatshefte d. Chem. 13, 743.

	Schmelzpunkt	Siedepunkt	Quotient
	in absoluter Zählung		
Na	370.5	1150.5	1:3.10
K	335.5	1030.5	1:3.07
Rb	311.5	969	1:3.11
Cs	299.5	943	1:3.15
Zn	692.4	1202.6	1:1.75
Cd	594.7	1051	1:1.77
*Hg	233.56	630.25	1:2.70
Sn	504.83	2543	1:5.03
*Pb	600.43	1798	1:2.99
N	62.48	77.33	1:1.24
P	317	560.3	1:1.77
As	903.71	1713	1:1.90
*Bi	544.5	1693	1:3.11
O	46	90.2	1:1.96
S	392	718	1:1.83
Se	490	963	1:1.96
*Te	728	1663	1:2.29
*F	40	86	1:2.15
Cl	171	239	1:1.40
Br	265.7	336	1:1.27
J	386.4	457.35	1:1.18

Infolge der auf Seite 6 besprochenen Regel von GULDBERG, wonach der Siedepunkt etwa zwei drittel der kritischen Temperatur beträgt, ist es selbstverständlich, daß eine ähnliche Zusammengehörigkeit wie zwischen Siede- und Schmelzpunkt auch zwischen Schmelzpunkt und kritischer Temperatur besteht. Von CLARKE¹ ist die Forderung ausgesprochen worden, daß der Quotient aus kritischer und Schmelztemperatur in absoluter Zählung konstant sein soll. Leider ist unsere Kenntnis von den kritischen Temperaturen der Elemente so begrenzt, daß die Prüfung nur in zwei Reihen möglich ist, wo aber keine Konstanz, sondern einmal ein leicht steigender und einmal ein leicht fallender Gang erscheint.

	Kritische Temperatur	Schmelzpunkt	Quotient
	in absoluter Zählung		
A	155.6	85.1	1.83
Kr	210.5	104	2.03
Xe	287.7	133	2.16
Cl	419	171	2.45
Br	575.2	265.7	2.16
J	785	386.4	2.03

¹ Amer. Chem. J. 18, 618.

Um diese CLARKESche Beziehung auch für einige Verbindungen berechnen zu können, gebe ich die folgende Zusammenstellung, wo die Schmelzpunkte in gewöhnlicher (t) und absoluter (T) Zählung und die kritischen Temperaturen (T_k) aufgeführt sind.

Vierte Gruppe	t	T	T_k	Quotient
CCl_4	- 23.77	249.23	558.3	2.24
* SiCl_4	- 89	184	503	2.73
TiCl_4	- 25	248	631	2.54
* SnCl_4	- 33	240	591.7	2.46
Fünfte Gruppe	t	T	T_k	Quotient
NH_3	- 75.5	197.5	404	2.04
PH_3	- 132.5	140.5	325.8	2.32
PCl_3	- 111.8	161.2	558.5	3.46*
AsCl_3	- 18	255	629	2.46
Sechste Gruppe	t	T	T_k	Quotient
* OH_2	0	273	647	2.37
SH_2	- 82.9	190.1	373	1.96
SeH_2	- 68	205	411	2.02
O_2C	- 56.5	216.5	303.92	1.40
S_2C	- 112.8	160.2	544.8	3.40*
Siebente Gruppe	t	T	T_k	Quotient
ClH	- 111.3	161.7	325.3	2.01
BrH	- 87.9	185.1	364.3	1.96
JH	- 51.3	221.7	423.7	1.91
Cl_3P	- 111.8	161.2	558.5	3.46
Br_3P	- 41.5	231.5	714	3.08
Cl_4Si	- 89	184	503	2.73
Br_4Si	+ 5	278	656	2.36

Die Siedepunkte und kritischen Temperaturen dieser Verbindungen zeigen im allgemeinen einen regelmäßigen Verlauf. In den meisten Fällen steigen beide Größen mit dem Molekelgewicht; ein Sinken der zwei Werte haben wir nur bei NH_3 — PH_3 , während bei O_2C — S_2C die Siedepunkte fallen und die kritischen Temperaturen wachsen. Unstetigkeiten erscheinen bei den Chloriden der vierten Gruppe und in der sechsten Gruppe beim Wasser, welche Verbindungen entsprechend auch Anomalien bei den Siedepunkten aufweisen, ein Verhalten, das vielleicht auf besondere molekulare Bedingungen deutet.

Die berechneten CLARKESchen Quotienten liefern zweifellos einen gewissen Zusammenhang; nur in den Fällen PCl_3 — AsCl_3 und O_2C — S_2C versagt die Regel.

Den eben angeführten Schmelzpunkten möchte ich noch die

einiger Metallverbindungen anreihen, die wiederum dartun, daß in den Gruppen des periodischen Systems regelmäßige Tendenzen vorhanden sind, daß aber zahlreiche Ausnahmen die Existenz einer eindeutigen Beziehung verhindern. Die Schmelzpunkte sind nur in gewöhnlicher Zählung angeführt.

LiF . . . 801	LiCl . . . 600	LiBr . . . 547	LiJ . . . 453
NaF . . . 992.2	NaCl . . . 800	NaBr . . . 765	NaJ . . . 667.5
KF . . . 885	KCl . . . 800	KBr . . . 745.5	KJ . . . 677.3
RbF . . . 753	RbCl . . . 710	RbBr . . . 683	RbJ . . . 642
	CsCl . . . 646		CsJ . . . 621
LiNO ₃ . . . 264		Li ₂ SO ₄ . . . 854	
NaNO ₃ . . . 310.5	NaOH . . . 318.4	Na ₂ SO ₄ . . . 884	
KNO ₃ . . . 337	KOH . . . 360.4	K ₂ SO ₄ . . . 1066.1	
RbNO ₃ . . . —	RbOH . . . 301	Rb ₂ SO ₄ . . . 1074	
CsNO ₃ . . . 414	CsOH . . . 272	Cs ₂ SO ₄ . . . 1019	
	Cu ₂ F ₂ . . . 908	AgF . . . 435	
	Cu ₂ Cl ₂ . . . 434	AgCl . . . 450	
	Cu ₂ Br ₂ . . . 484	AgBr . . . 427	
	Cu ₂ J ₂ . . . 601	AgJ . . . 530	
	BeCl ₂ . . . 601	BeBr ₂ . . . 601	BeJ ₂ . . . 510
MgF ₂ . . . 908	MgCl ₂ . . . 708	MgBr ₂ . . . 695	
CaF ₂ . . . 1330	CaCl ₂ . . . 780	CaBr ₂ . . . 760	CaJ ₂ . . . 740
SrF ₂ . . . 902	SrCl ₂ . . . 854	SrBr ₂ . . . 630	SrJ ₂ . . . 507
BaF ₂ . . . 1280	BaCl ₂ . . . 960	BaBr ₂ . . . 880	BaJ ₂ . . . 740

Eine sehr gute Regelmäßigkeit ergibt sich bei der Zusammenstellung der Schmelzwärmen von Elementen und Verbindungen. Ganz allgemein nimmt die Schmelzwärme (pro Kilogramm Substanz) mit wachsendem Atomgewicht ab.

Schmelzwärmen der Elemente.

Erste Gruppe			
Na	31.7	Cu	43
K	15.7	Ag	21.1
Zweite Gruppe		Dritte Gruppe	
Zn	28.1	Ga	19.1
Cd	13.7	Tl	7.2
Hg	2.84		
Siebente Gruppe		Achte Gruppe	
Cl	22.96	Pd	36.3
Br	16.18	Pt	27.2
J	11.7 (totale Schmelzwärme)		

Schmelzwärmen von Verbindungen.

Erste Gruppe		Zweite Gruppe	
LiNO ₃ . . . 88.5	NaOH . . . 40.0	CaCl ₂ . . . 54.6	AsBr ₃ . . . 8.93
NaNO ₃ . . . 62.97	KOH . . . 28.6	*SrCl ₂ . . . 25.6	*SbBr ₃ . . . 9.76
KNO ₃ . . . 47.37	RbOH . . . 15.8	BaCl ₂ . . . 27.8	
	CsOH . . . 10.7		
Siebente Gruppe			
Cl ₂ Pb . . . 18.5	CITl . . . 16.6	ClAg . . . 21.3	
Br ₂ Pb . . . 12.34	BrTl . . . 12.7	BrAg . . . 12.6	
J ₂ Pb . . . 11.50			

Ausnahmen bilden nur SrCl_2 und SbBr_3 , bei denen aber vielleicht Wassergehalt oder Zersetzlichkeit die Ursache der — zahlenmäßig geringen — Anomalie sein können.

Diese umgekehrte Proportionalität zwischen Atomgewicht und Schmelzwärme legt den Gedanken nahe, daß vielleicht gemäß dem Gesetz von DULONG und PETIT die Produkte von Atomgewicht und Schmelzwärme einen konstanten Wert annehmen; aber das ist nicht der Fall. Selbst innerhalb jeder Gruppe des periodischen Systems zeigen diese Produkte einen Gang, der mit steigendem Atomgewicht wächst oder fällt. Diese Produkte betragen abgerundet:

Na 730	Zn 1840	Ga 1330	Sn 1700
K 610	Cd 1540	Tl 1470	Pb 1130
	Hg 570		
Cu 2740		Cl 810	Pd 3760
Ag 2300		Br 1300	Pt 5310
		J 1490 ¹	

Bisher wurden die Schmelzpunkte der Elemente nur innerhalb der senkrecht stehenden Familien verglichen; die Betrachtung der Horizontalreihen liefert (Schmelzpunkte in absoluter Zählung):

	Li 459	Be >960	B sehr hoch	C sehr hoch	N 62.48	O 46	F 40
	Na 370.5	Mg 923	Al 931	Si 1698	P 317	*S 392	Cl 171
A 85.1	K 335.5	Ca 1053	—	Ti 2073	As 1073	Se 490	Br 265.2
Kr 104	Rb 311.5	Sr 1073	—	—	Sb 903.71	Te 728	J 386.4

Es ist eine deutliche Periodizität vorhanden, indem die Schmelzpunkte von links anfangend steigen, in der Mitte ihr Maximum erreichen und dann wieder fallen; doch kommen auch hier Anomalien vor, wie die verkehrt laufenden Werte bei Phosphor und Schwefel zeigen.

Bei einem Vergleich anderer Eigenschaften der Elemente und homologer Verbindungen ergibt sich als allgemeine Schwierigkeit der Umstand, daß das Verhalten eines Stoffes erheblich von den äußeren Bedingungen, speziell der Temperatur abhängig ist, und daß die Auswahl einer Temperatur, wo die Stoffe in übereinstimmenden Zuständen vorliegen, Schwierigkeiten bereitet. Dazu kommt noch, daß die Eigenschaften der Stoffe meist nur bei irgendeiner, durch die Zufälligkeit der Versuchsanordnung gegebenen Temperatur bestimmt sind. Erfolgreich wird man erst dann in die besonderen Gesetzmäßigkeiten des periodischen Systems eindringen können, wenn diese Unzulänglichkeit beseitigt und das studierte Tatsachenmaterial unter wirklich vergleichbaren äußeren Umständen in

¹ Nicht eigentlich vergleichbar, da hier die totale Schmelzwärme benutzt ist.

weitestem Umfange bekannt ist. Für die großartige Einfachheit der vorhandenen Beziehungen spricht es, daß trotz aller Mängel viele Eigenschaften nach dem System sich direkt vergleichen lassen, und ich möchte diese Regelmäßigkeiten noch durch einige Tabellen hervorheben, die im allgemeinen bei der Anführung des periodischen Systems in den Lehrbüchern nicht immer betont werden.

Am günstigsten für den Vergleich steht es mit dem Brechungsvermögen, da man bei diesem durch die bekannten Formeln von LORENTZ und LORENZ $\frac{n^2-1}{n^2+2} \cdot \frac{1}{d}$ oder GLADSTONE und DALE $\frac{n-1}{d}$, wo n der Brechungsquotient und d die Dichte bedeuten, eine Funktion von n besitzt, die von der Temperatur unabhängig ist. GLADSTONE¹ hat 1896 die Atomrefraktionen der Elemente zusammengestellt, indem er diese nach dem LANDOLTSchen Gesetz der Additivität der Molekularrefraktion aus den Brechungen der Verbindungen berechnete. Seitdem ist aber eine ganze Zahl neuer Bestimmungen veröffentlicht worden, welche den Vergleich direkter Messungen gestatten und mit Auswahl von mir gesammelt sind. Unter t ist bei dieser Aufzählung stets die Temperatur in gewöhnlicher Zählung, unter λ die Wellenlänge, unter d die Dichte und unter n der Brechungsexponent angegeben.

Brechungsvermögen flüssiger Elemente.

Fünfte Gruppe	t	λ	n	d	$\frac{n^2-1}{n^2+2} \cdot \frac{1}{d}$	$\frac{n^2-1}{n^2+2} \cdot \frac{\text{Atomgew.}}{d}$
N . . .	-190	0.589	1.205	0.7851	0.167	2.33
P . . .	44	0.656	2.050	1.814	0.284	8.83
Sechste Gruppe						
O . . .	-181	0.589	1.221	1.1181	0.126	2.01
S . . .	110	0.589	1.929	1.8114	0.263	8.40
Siebente Gruppe						
Cl	14	0.589	1.367	1.4273	0.157	5.59
Br	?	0.589	1.661	3.120	0.118	6.77

Mit steigendem Atomgewicht wachsen in jeder Reihe die Brechungskoeffizienten und die daraus berechneten, in der letzten Kolumne stehenden Atomrefraktionen.

Im allgemeinen trifft man das gleiche Verhalten auch bei flüssigen Verbindungen wieder, wo aber einzelne Unregelmäßigkeiten erscheinen, die durch Sternchen hervorgehoben sind. Ich habe mich im folgenden auf die Wiedergabe der Brechungsexponenten beschränkt.

¹ *Proc. Roy. Soc. London* 66, 140.

Vierte Gruppe	t	λ	n
CCl ₄	15	0.434	1.483
*SiCl ₄	20	0.434	1.424
SnCl ₄	20	0.434	1.337
Fünfte Gruppe	t	λ	n
NH ₃	16.5	0.589	1.325
*PH ₃	17.5	0.589	1.317
PCl ₃	14	0.434	1.535
AsCl ₃	14	0.434	1.625
Sechste Gruppe	t	λ	n
SO ₂ Cl ₂	12.4	0.589	1.444
CrO ₂ Cl ₂	23	0.589	1.524
Siebente Gruppe	t	λ	n
Cl ₃ B	5.7	0.486	1.428
Br ₃ B	6.3	0.486	1.553
Cl ₃ P	14	0.434	1.535
Br ₃ P	25	0.434	1.733
ClH	10.5	0.589	1.254
BrH	10	0.589	1.325
JH	12	0.589	1.466

Abweichungen von dem gleichzeitigen Steigen der Atomgewichte und Berechnungsquotienten finden sich in der vierten Gruppe und in der fünften bei Ammoniak und Phosphorwasserstoff, wo vorher Anomalien auch für andere Eigenschaften aufgefunden worden sind.

Brechungsexponenten von gasförmigen Elementen bei 0° gegen den luftleeren Raum.

Nullte Gruppe	λ	n	Produkt
He	0.579	1,0000349	
Ne	0.579	671	1.92.349
Ar	0.578	2803	8.02.349
Kr	0.579	4276	12.25.349
Xe	0.579	6970	20.349
Siebente Gruppe	λ	n	Produkt
F	0.589	1,000195	
Cl	0.589	773	3.98.195
Br	0.589	1132	5.8.195
J	?	1920	9.85.195

Auch hier entspricht innerhalb jeder Gruppe dem Steigen des Atomgewichts eine Vergrößerung des Brechungsexponenten.

Von CUTHBERTSON und PRIDEAUX¹ stammt die Angabe, daß bei Elementen derselben Gruppe des periodischen Systems die Werte $n - 1$ in einem ganzzahligen Verhältnis zueinander stehen.

¹ *Proc. Roy. Soc. London*, Ser. A. **76**, 426.

Eine sehr angenäherte Beziehung derart ist auch in der Tat vorhanden, wie die angegebenen Produkte erweisen.

Auch bei gasförmigen Verbindungen steigen die Brechungs-
exponenten mit den Atomgewichten ($t = 0$) innerhalb jeder Gruppe.

Fünfte Gruppe	λ	n
NH ₃	0.589	1.000379
PH ₃	?	789
Sechste Gruppe	λ	n
OH ₂	0.589	1.000249
SH ₂	0.589	623
O ₂ C	0.589	1.000449
S ₂ C	0.589	1478
Siebente Gruppe	λ	n
ClH	0.589	1.000447
BrH	0.589	573
JH	0.589	911
ClCH ₃	0.589	1.000870
BrCH ₃	0.589	964
JCH ₃	0.589	1265

Dieselbe Regelmäßigkeit zeigt sich auch bei den folgenden Werten für Gase bei 0°, wo die Größe n_0 aus dem beobachteten n nach der Gleichung

$$\frac{n_0 - 1}{n - 2} = \frac{\text{normale Dichte}}{\text{beobachtete Dampfdichte}}$$

berechnet worden ist. Die Wellenlänge beträgt immer 0.589.

Zweite Gruppe	Fünfte Gruppe	Sechste Gruppe
n_0	n_0	n_0
Zn . . . 1.002060	P 1.001212	S 1.001111
Cd . . . 1.002675	As 1.001550	Se 1.001565
*Hg . . . 1.001866		Te 1.002495

Hierbei fällt das Quecksilber heraus.

Den Schluß mögen einige Berechnungsquotienten der D -Linie von Lösungen machen, die in einer Konzentration von 10% und bei 17.5° untersucht worden sind.

n	n	n
NaCl . . . 1.34963	NaBr . . . 1.34672	NaJ . . . 1.34758
KCl . . . 1.34598	KBr . . . 1.34480	KJ . . . 1.34612
n	n	n
NaNO ₃ . . 1.34393	NaOH . . . 1.35755	MgCl ₂ . . 1.35703
KNO ₃ . . . 1.34212	KOH . . . 1.35151	CaCl ₂ . . . 1.35589
		SrCl ₂ . . . 1.35051
		BaCl ₂ . . . 1.34553

Mit steigendem Atomgewicht sinken die n -Werte bei den Lösungen, also gerade umgekehrt wie es bei den reinen Flüssigkeiten und Gasen der Fall war.

In naher Beziehung zu den Brechungsexponenten stehen die Dielektrizitätskonstanten, für deren Regelmäßigkeiten verschiedene Reihen angeführt werden können.

Von Elementgruppen kommen die nachstehenden Dielektrizitätskonstanten ϵ in Betracht, die mit steigendem Atomgewicht wachsen.

Sechste Gruppe	λ	t	ϵ	Aggregatzustand
O	∞	-182	1.491	flüssig
S	∞	nahe beim Siedep.	3.42	flüssig
Se	∞	?	6.13	glasig
Siebente Gruppe	λ	t	ϵ	Aggregatzustand
Cl	∞	-60	2.150	flüssig
Br	∞	1	4.6	flüssig

Bei Verbindungen findet mit steigendem Atomgewicht meist ein Sinken, manchmal aber auch ein Steigen der Dielektrizitätskonstanten statt.

Erste Gruppe	λ	t	ϵ	Aggregatzustand
NaCl	∞		6.29	fest
KCl	∞		4.94	fest
NaNO ₃	∞		5.18	fest
KNO ₃	∞		2.56	fest
Zweite Gruppe	λ	t	ϵ	Aggregatzustand
SrSO ₄	75	—	11.3	fest
BaSO ₄	75	—	10.2	fest
Vierte Gruppe	λ	t	ϵ	Aggregatzustand
CCl ₄	73	17	2.18	flüssig
SiCl ₄	80	16	2.40	flüssig
SnCl ₄	84	22	3.2	flüssig
Fünfte Gruppe	λ	t	ϵ	Aggregatzustand
NH ₃	72	-50	22.7	flüssig
PH ₃	72	-50	2.6	flüssig
AsH ₃	72	-50	2.58	flüssig
SbH ₃	72	-50	2.58	flüssig
Sechste Gruppe	λ	t	ϵ	Aggregatzustand
OH ₂	∞	18	81.1	flüssig
SH ₂	∞	10	5.93	flüssig
SO ₂ Cl ₂	73	25	8.5	flüssig
CrO ₂ Cl ₂	73	20	2.6	flüssig

Siebente Gruppe	λ	t	ε	Aggregatzustand
ClH	84	-90	8.85	flüssig
BrH	84	-80	6.29	flüssig
JH	84	-50	2.88	flüssig
Cl ₃ P	80	18	3.72	flüssig
Br ₃ P	80	20	3.88	flüssig
J ₃ P	80	ca. 65	4.12	flüssig
J ₃ P	80	20	3.66	fest
Cl ₃ As	80	17	12.6	flüssig
Br ₃ As	80	35	8.83	flüssig
J ₃ As	80	ca. 150	7.0	flüssig
Cl ₃ As	80	-50	3.6	fest
Br ₃ As	80	20	3.33	fest
J ₃ As*	80	18	5.38	fest
Cl ₃ Sb	84	75	33.2	flüssig
Br ₃ Sb	80	ca. 100	20.9	flüssig
J ₃ Sb	80	ca. 175	13.9	flüssig
Cl ₃ Sb	84	18	5.4	fest
Br ₃ Sb	80	20	5.05	fest
J ₃ Sb*	80	20	9.1	fest

Werden die Haloide von Phosphor, Arsen und Antimon in Abwandlung dieser drei Elemente zusammengestellt, so ist die Reihenfolge:

in flüssigem Zustande

	ε		ε		ε
PCl ₃ . .	3.72	PBr ₃ . .	3.88	PJ ₃ . . .	4.12
AsCl ₃ . .	12.6	AsBr ₃ . .	8.83	AsJ ₃ . .	7.0
SbCl ₃ . .	33.2	SbBr ₃ . .	20.9	SbJ ₃ . .	13.9

in festem Zustande

	ε		ε		ε
AsCl ₃ . .	3.6	AsBr ₃ . .	3.33	PJ ₃ . . .	3.66
SbCl ₃ . .	5.4	SbBr ₃ . .	5.05	AsJ ₃ . .	5.38
				SbJ ₃ . .	9.1

Ausnahmen bilden nur die festen Formen von AsJ₃ und SbJ₃ an den durch Sternchen bezeichneten Stellen.

Eine sehr gute Regelmäßigkeit liefern weiterhin die Diffusionskoeffizienten, welche Metalle, die zu 0.1 %igem Amalgam gelöst sind, gegen Quecksilber zeigen; die entsprechende Tabelle ist ohne weiteres verständlich.

Erste Gruppe

	t	d
Li	8.2	0.66 ccm/Tag
Na	9.6	0.64
K	10.5	0.53
Rb	7.3	0.46
Cs	7.3	0.45

Zweite Gruppe		
	<i>t</i>	<i>d</i>
Ca	10.2	0.54
*Sr	9.4	0.47
Ba	7.8	0.52
Zn	15.0	2.09
Cd	15.0	1.56
Vierte Gruppe		
	<i>t</i>	<i>d</i>
Sn	10.7	1.53
Pb	9.4	1.50

Die Diffusionskoeffizienten nehmen mit steigendem Atomgewicht ab, nur bei Strontium-Barium findet sich eine Anomalie. — So regelmäßig der Gang der Diffusionskoeffizienten erscheint, so ist andererseits hervorzuheben, daß diese Koeffizienten keineswegs vom Atomgewicht allein abhängen, wie beispielsweise die Tatsache erweist, daß Kalium mit dem Atomgewicht 39 und Baryum mit dem Atomgewicht 137 nahezu den gleichen Diffusionskoeffizienten besitzen; wahrscheinlich hat hier die Bildung von Metall-Quecksilberverbindungen¹ wesentliche Bedeutung.

Über Löslichkeitsregelmäßigkeiten von Salzen nach dem periodischen System liegt ein großes Tatsachenmaterial vor; dagegen sind naturgemäß Angaben über die Löslichkeit der Elemente selbst nur wenig bekannt. Im großen ganzen kann es sich dabei nur um die Absorptionskoeffizienten gasförmiger Elemente handeln, von denen mir folgende Werte zur Verfügung stehen:

Absorptionskoeffizienten gasförmiger Elemente in Wasser

Nullte Gruppe		
	bei 0°	bei 50°
He	0.01500*	0.01404
Ne	0.0114	0.0313*
A	0.053	0.02567
Kr	0.1249	0.0813
Xe	0.2189	0.0868
Siebente Gruppe		
Cl	4.61	1.204
Br	60.5	6.5

Die Absorptionskoeffizienten steigen mit dem Atomgewicht, doch tritt eine Unstetigkeit bei Helium oder Neon auf. Da die Löslichkeit des Neons — entgegen dem Verhalten der meisten Gase —

¹ BECKMANN und LIESCHE, *Z. anorg. Chem.* 89, 171.

mit wachsender Temperatur zunimmt, liegt die erwähnte Anomalie bei verschiedenen Temperaturen entweder bei diesem oder beim Helium.

Daß sich schließlich auch Eigenschaften, die dem Gedankenkreise des Chemikers im allgemeinen ferner liegen, nach den Atomgewichten ordnen lassen, ist durch das Beispiel der Schallgeschwindigkeiten c bekannt, wofür die nachstehenden Werte anzugeben sind:

Erste Gruppe

	t	c (m pro Sekunde)	Aggregatzustand
Cu	10^0	3665.9	fest
Ag	10^0	2674.4	fest
Au	10^0	2112.2 ¹	fest

Zweite Gruppe

	t	c (m pro Sekunde)	Aggregatzustand
Zn	13	3680.9	fest
Cd	?	2306.6	fest
Hg	360	208.1	gasförmig

Vierte Gruppe

	t	c (m pro Sekunde)	Aggregatzustand
Sn	13	2490.3	fest
Pb	15—20	1227.4	fest

Siebente Gruppe

	t	c (m pro Sekunde)	Aggregatzustand
Cl	0	206.4	gasförmig
Br	0	135.0	gasförmig
J	0	107.7	gasförmig

Die Schallgeschwindigkeiten sinken mit wachsendem Atomgewicht und ebenso mit steigenden Molekelgewichten bei den analogen Verbindungen:

	t	c (m pro Sekunde)	Aggregatzustand
OH ₂	0	401	gasförmig
SH ₂	0	289.27	gasförmig
O ₂ C	0	261.6	gasförmig
S ₂ C	0	189.90	gasförmig

Nach FRITZ² soll das Produkt aus Atomgewicht und Schallgeschwindigkeit konstant sein, und das trifft auch in der Tat für die folgenden festen Elemente annähernd zu:

¹ Der Wert schwankt nach der mechanischen Vorgeschichte des Metalls.

² *Monatsh. d. Chem.* **13**, 743.

Cu	3665.9 .	63.57 =	233500
Ag	2674.4 .	107.88 =	288000
Zn	3680.9 .	65.37 =	241000
Cd	2306.6 .	112.40 =	260000
Sn	2490.3 .	119.0 =	296000
Pb	1227.4 .	207.1 =	253500

Bei den gasförmigen Elementen treten andere Werte auf, die ebenso wie bei den gasförmigen Verbindungen mit wachsendem Atom- oder Molekelgewicht steigen.

Pharmazeutisches Institut der Universität Breslau, 11. Oktober 1915.

Bei der Redaktion eingegangen am 13. Oktober 1915.