Ableitung des periodischen Systems der chemischen Elemente aus der Elektronentheorie.

Von HEINRICH TEUDT.

Mit 14 Figuren im Text.

1. Die grundlegenden Anschauungen über den Aufbau der Atome und Moleküle aus Elektronen.

Bekanntlich haben Untersuchungen von RUTHERFORD und BOHR zu der Vorstellung geführt, daß ein Atom aus einem elektrisch positiv geladenen Atomkern besteht, der von negativen Elektronen umkreist wird. Da diese Elektronen sich gegenseitig abstoßen, müssen sie sich so weit entfernt voneinander einstellen, wie es die Anziehungskraft des Atomkerns zuläßt. Da ferner der Atomkern auf sämtliche Elektronen eine gleich große Anziehungskraft ausübt, müssen diese bestrebt sein, sich auf einer Kugelfläche einzustellen, in deren Mittelpunkt dieser Atomkern liegt. Dabei müssen die Elektronen mit solcher Geschwindigkeit kreisen, daß ihre Zentrifugalkraft der Anziehungskraft des Atomkerns die Wage hält, weil sie sonst in das Innere des Atomkerns gezogen würden. Um diese Zentrifugalgeschwindigkeit zu erreichen, suchen die Elektronen sich möglichst nahe am Äquator der genannten Kugelfläche einzustellen, so daß die beiden Pole dieser Kugelfläche frei von Elektronen bleiben. Diese beiden Pole werden daher infolge der von positiven Atomkern ausgehenden Kraftlinien elektrisch positiv.

Schon vor den eben erwähnten Arbeiten von RUTHERFORD und BOHR wurde von J. STARK¹⁾ eine Hypothese aufgestellt, nach welcher die Verbindung zweier Atome zu einem Molekül mit Hilfe von Valenzelektronen erfolgt. Bei einwertigen Verbindungen löst sich aus jedem Atom ein Valenzelektron, bei zweiwertigen Verbindungen zwei Valenzelektronen usw. Diese Valenzelektronen stellen sich zwischen die Atome und halten dieselben dadurch zusammen, daß ein Teil ihrer Kraftlinien sich an positive Sphären des einen Atoms und ein anderer Teil ihrer Kraftlinien sich an positive Sphären des anderen Atoms anheftet. Diese positiven Sphären müssen nach den

¹⁾ Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik 1908. Bd. V. S. 124—153.

vorhergehenden Ausführungen an den beiden Polen der den Atomkern umgebenden Elektronenkugelfläche liegen.

Die von den STARKSchen Valenzelektronen ausgehenden Kraftlinien müssen daher nach einem der beiden Pole der das Atom begrenzenden Kugelfläche gehen und werden durch diesen Pol hindurch von dem im Zentrum des Atoms befindlichen positiven Kern angezogen, vgl. Fig. 1.

Ferner muß man annehmen, daß sich die den Atomkern umgebenden Elektronen symmetrisch auf der eben besprochenen Kugelfläche um dem Atomkern zueinander einstellen und auch während ihrer Umdrehung in symmetrischer Stellung zueinander bleiben. Denn sonst könnte ein derartiges aus sich bewegenden Elektronen bestehendes Gebilde unmöglich so beständig sein, wie es ein Atom ist. Aus dieser Forderung der Symmetrie folgt, daß die zu einem Atom gehörenden Elektronen in zueinander parallelen Bahnen und mit gleicher Winkelgeschwindigkeit um ihren Atomkern kreisen. Verbinden sich nun zwei gleichartige Atome des selben Elementes miteinander, so werden sie sich so zueinander einzustellen suchen, daß sowohl die Kreisbahnen der um ihre beiden Atomkerne kreisenden Elektronen als auch die Kreisbahn der zwischen ihnen kreisenden Valenzelektronen parallel zueinander sind. Zwei durch Valenzelektronen

Fig. 1.
Verbindung zweier
Atome zu einem
Molekül durch
Valenzelektronen.

zu einem Molekül miteinander verbundene Atome müssen sich daher in der aus Fig. 1 ersichtlichen Weise zueinander einstellen.

2. Die Entstehung der Perioden im periodischen System der Elemente.

Wir wollen nun die Atome der verschiedenen Elemente betrachten. Dabei muß folgendes vorausgeschickt werden: da jedes Atom nach außen hin neutral erscheint, müssen die negativen Elektronen und positiven Ladungen des Atomkerns sich gegenseitig aufheben; daraus folgt, daß die Zahl der am Atomkern vorhandenen positiven Ladungen ebenso groß sein muß wie die Zahl der zu diesem Atom gehörenden Elektronen. Diese Zahl entspricht nun nach Versuchen, die RUTHERFORD mit WILSONSchen Aufnahmen und MOSLEY mit Röntgenstrahlen angestellt hat, der Stellung, die ein Element in dem von MENDELJEFF und L. MEYER entdeckten perio-

dischen System der Elemente einnimmt; d. h. also, das erste Element, der Wasserstoff, hat 1 Elektron, das zweite Element, das Helium, hat 2 Elektronen, das dritte Element, das Li. hat 3 Elektronen usw. (vgl. Tabelle auf Seite 192).

Da zum Wasserstoffatom nur ein einziges Elektron gehört, bildet ein Wasserstoffatom, wie Fig. 2 zeigt, kein symmetrisches Gebilde und ist daher für sich allein nicht genügend existenzfähig. Dagegen entsteht ein symmetrisches und existenzfähiges Gebilde, wenn zwei Wasserstoffatome sich zu einem Molekül verbinden, indem ihre beiden Elektronen als Valenzelektronen zwischen die Atome treten, so daß das aus Fig. 3 ersichtliche Gebilde entsteht.

Fig. 2.
Wasserstoffatom.

Fig. 3.
Wasserstoffmolekül.

Fig. 4.
Inneres Elektronensystem des Heliums und der übrigen Elemente der ersten Horizontalreihe.

Fig. 5. Inneres und äußeres Elektronensystem eines Kohlenstoffatoms bei zweiwertigen Kohlenstoffverbindungen.

Bei dem auf den Wasserstoff folgenden Element, dem Helium, wird der Atomkern von 2 Elektronen umkreist, die sich, wie Fig. 4 zeigt, symmetrisch zum Atomkern einstellen können. Infolge dieser Symmetrie ist das Heliumatom im Gegensatz zum Wasserstoffatom beständig. Wenn aber beim Heliumatom eines der beiden Elektronen vom Atomkern fort in eine zwischen zwei Atomkernen befindliche Valenzstellung gehen würde, so würde das Heliumatom dadurch ebenso unsymmetrisch und wenig existenzfähig werden, wie das für sich allein nicht existenzfähige Wasserstoffatom. Aus diesem Grunde kann das Heliumatom kein Valenzelektron abgeben, mit dessen Hilfe es sich mit einem anderen Atom zu einem Molekül verbinden könnte.

Auf das Helium folgen (vgl. die Tabelle auf S. 192) das Li mit 3 Elektronen, das Be mit 4 Elektronen und das B mit 5 Elektronen. Da das Li einwertig ist, geht 1 Elektron von seinen 3 Elektronen in die Valenzstellung, und es bleiben am Atomkern 2 Elektronen zurück; beim Be, das zweiwertig ist, gehen 2 Elektronen in

Die Perioden des natürlichen Systems der Elemente.

	Innere Elektronen	Valenz- elektronen 0	Valenz- elektronen 1	Valenz- elektronen 2	Valenz- elektronen 3	Valenz- elektronen 4	Valenz- elektronen 5	Valenz- elektronen 6	Valenz- elektronen 7
1	2	He 2=	Li 3=	Be 4=	B 5=	C 6=	N 7=	O 8=	F 9=
		2+0	2+1	2+2	2+3	4+2	2+5	2+6	2+7
2	10	Ne 10=	Na 11=	Mg 12=	Al 13=	Si 14=	P 15=	S 16=	Cl 17=
		10+0	10+1	10+2	10+3	10+4	10+5	10+6	10+7
3	18	A 18=	K 19=	Ca 20=	Sc 21=	Ti 22=	V 23=	Cr 24=	Mn 25=
		18+0	18+1	10+2	18+3	18+4	18+5	18+6	18+7
4	28			Zn 30=	Ga 31=	Ge 32=	As 33=	Se 34=	Br 35=
				28+2	28+3	28+4	28+5	28+6	28+7
5	36	Kr 36=	Rb 37=	Sr 38=	Y 39=	Zr 40=	Nb 41=	Mo 42=	? 43=
		36+0	36+1	36+2	36+3	36+4	36+5	36+6	36+7
6	46			Cd 48=	In 49=	Sn 50=	Sb 51=	Te 52=	J 53=
				46+2	46+3	46+4	55+5	46+6	46+7
7	54	X 54=	Cs 55=	Ba 56=					
		54+0	54+1	54+2					
8									
9									
10	78			Hg 80=	Tl 81=	Pb 82=	Bi 83=	Po 84=	? 85=
				78+2	78+3	78+4	78+5	78+6	78+7
11	86	Em 86=	? 87=	Ra 88=	Ac 89=	Th 90=	Bv 91=	U 92=	
		86+0	86+1	86+2	86+3	86+4	86+5	86+6	

Die nicht in die eigentlichen
Perioden des natürlichen Systems
fallenden Elemente.

Fe 26	Ni 27	Co 28	Cu 29
Rn 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47
Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79

die Valenzstellung, und es bleiben ebenfalls 2 Elektronen am Atomkern zurück; beim B., das dreiwertig ist, gehen 3 von den vorhandenen 5 Elektronen in die Valenzstellung und es bleiben wiederum 2 Elektronen am Atomkern zurück. Bei jedem der eben genannten, in der ersten Horizontalreihe stehenden Elemente sind also 2 Elektronen so fest mit den Atomkern verbunden, daß sie ebenso wie die beiden Elektronen des Heliums nicht von diesem fort in eine Valenzstellung gehen können.

Der nun folgende Kohlenstoff hat 6 Elektronen, von denen bei vierwertigen Kohlenstoffverbindungen 4 vom Atomkern fort in eine Valenzstellung gehen, so daß auch hier ebenso wie bei den vorhergehenden Elementen dieser Horizontalreihe noch 2 Elektronen am Atomkern bleiben, die niemals von diesem fortgehen. Dagegen bleiben bei den zweiwertigen Kohlenstoffverbindungen noch 4 Elektronen am Atomkern zurück. Diese werden aber mit verschieden großer Kraft vom Atomkern festgehalten. Denn zwei von ihnen können, sobald das Kohlenstoffatom eine vierwertige Verbindung eingeht, vom Atomkern fort in eine Valenzstellung gehen, während die beiden anderen Elektronen so fest mit dem Atomkern verbunden sind, daß sie ebensowenig wie die beiden Elektronen des Heliums von ihrem Atomkern fort in eine Valenzstellung gehen können. Diese verschieden starke Bindung läßt sich dadurch erklären, daß die beiden fester am Atomkern haftenden Elektronen in einer inneren Kreis- oder Ellipsenbahn, die beiden weniger fest haltenden Elektronen in einer äußeren Kreis- oder Ellipsenbahn um ihren Atomkern kreisen (Fig. 5).

Auch bei den drei noch übrig bleibenden Elementen der ersten Horizontalreihe, dem N, O und Fl, sind jedesmal zwei Elektronen so fest mit ihrem Atomkern verbunden, daß sie nicht von diesem weg in eine Valenzstellung gehen können. Sämtliche Elemente der ersten Horizontalreihe besitzen also ein inneres Elektronensystem von zwei Elektronen, die so fest mit dem Atomkern verbunden sind, daß sie auf keinen Fall von diesem fort in eine Valenzstellung gehen können. Dagegen können die übrigen zum Atom gehörenden Elektronen sämtlich vom Atomkern fort in eine Valenzstellung gehen. Sie tun dies bei den gesättigten Sauerstoffverbindungen. Bei den übrigen Verbindungen geht aber nur ein Teil dieser Valenzelektronen vom Atomkern fort in die Valenzstellung und die übrigen Valenzelektronen bleiben beim Atomkern und kreisen wie beim Kohlenstoff (Fig. 5) in einen äußeren Ring um den Atomkern. Für diesen äußeren Elek-

tronenring bleiben bei den dreiwertigen Stickstoffverbindungen 2 Elektronen übrig, bei den zweiwertigen Sauerstoffverbindungen 4 und bei den einwertigen Fl-Verbindungen (Fig. 6) 6 Elektronen.

Fig. 6.

Inneres und äußeres Elektronensystem eines Fluoratoms bei einwertigen Fluorverbindungen.

Wenn man die folgenden Elemente in dieser Weise weiter betrachtet, so stellt sich heraus, daß sämtliche Elemente der zweiten Horizontalreihe ein inneres Elektronensystem von 10 Elektronen haben, die unter keinen Umständen vom Atomkern fort in eine Valenzstellung gehen können. Die Elemente der dritten Horizontalreihe haben ein inneres Elektronensystem von 18 Elektronen, die Elemente der vierten Horizontalreihe haben ein inneres Elektronensystem von 28 Elektronen usw., vgl. die Tabelle auf S. 192.

Die acht Perioden des natürlichen Systems der Elemente kommen demnach zustande, daß sämtliche Elemente einer Horizontalreihe eine gleichgroße Anzahl innere Elektronen und sämtliche Elemente einer Vertikalreihe eine gleichgroße Anzahl äußerer Elektronen haben. Die Zahl der inneren Elektronen ist in der Tabelle auf S. 192 am Anfang jeder Horizontalreihe, die Zahl der äußeren Elektronen am Kopf jeder Vertikalreihe angegeben.

Die Elemente, die in einer Vertikalreihe untereinander stehen, zeigen also deshalb ein gleichartiges chemisches Verhalten, weil sie eine gleichgroße Anzahl äußerer Elektronen oder Valenzelektronen haben, welche die Wertigkeit der Verbindungen, die diese Elemente eingehen, bestimmen.

In dieser Arbeit soll nun noch gezeigt werden, wie die Entstehung eines metallischen oder metalloiden Charakters sowie das Atomvolumen in erster Linie bestimmt wird durch die Stellung, die die Elektronen des inneren Elektronensystems zum Atomkern und zueinander einnehmen. Bei den rechts stehenden Elementen kommt dann zu dem inneren Elektronensystem noch ein äußerer

Elektronenring hinzu, dessen Entstehung im Vorhergehenden, bei den rechtsstehenden Elementen der ersten Horizontale (C, N, O, Fl) abgeleitet wurde, der aber in gleicher Weise auch bei den rechtsstehenden Elementen der folgenden Horizontalreihen entsteht. Auch die Elektronen dieses äußeren Elektronenringes bei den rechtsstehenden Elementen üben einen Einfluß auf die Bildung des metallischen oder metalloiden Charakters sowie auf das Atomvolumen aus. In welcher Weise diese Wirkungen des inneren Elektronensystems und des bei den rechts stehenden Elementen hinzukommenden äußeren Elektronenringes zustande kommen, soll in den folgenden Kapiteln abgeleitet werden.

3. Entstehung des metallischen und metalloiden Charakters der Elemente.

Zunächst soll angenommen werden, daß Metalle und Metalloide sich dadurch voneinander unterscheiden, daß aus einem Metallatom Elektronen leichter herausgestoßen werden können, als aus einem Metalloidatom. Diese Annahme ist nicht neu, denn man hat schon die metallische Leitung des elektrischen Stromes dadurch erklärt, daß Elektronen von Atom zu Atom wandern und dabei ihre elektrischen Ladungen weiter tragen. Die wandernden Elektronen können aber nicht durch die Atome hindurchkommen, sondern stoßen gegen dieselben und stoßen dabei aus ihnen andere Elektronen heraus, deren Stelle sie dann einnehmen, während die herausgestoßenen Elektronen die Weiterführung des elektrischen Stromes bewirken. Diese Art der Weiterleitung des elektrischen Stromes ist bei den Metallen deshalb möglich, weil bei ihnen die Elektronen nur relativ schwach von ihrem Atomkern angezogen werden, so daß sie durch die hinzukommenden neuen Elektronen herausgestoßen werden können. Dagegen können die Metalloide den elektrischen Strom nicht weiterleiten, weil in ihren Atomen sämtliche Elektronen so stark vom Atomkern angezogen werden, daß sie nicht aus dem Atom herausgestoßen werden können.

Es sollen zunächst diejenigen Horizontalreihen des periodischen Systems betrachtet werden, in denen der metallische Charakter der Elemente von links nach rechts regelmäßig abnimmt; es sind dies die erste, zweite, vierte und sechste Horizontalreihe. Die Abnahme des metallischen Charakters in diesen Reihen ist nach den Ausführungen des vorhergehenden Absatzes darauf zurückzuführen, daß die Kraft, mit welcher die Elektronen vom Atomkern angezogen

werden, bei den Elementen dieser Reihen von links nach rechts zunimmt, so daß die Elektronen immer schwerer herausgestoßen werden können. Diese Zunahme der von den Atomkernen ausgeübten Anziehungskräfte läßt sich aus der hier entwickelten Elektronentheorie in folgender Weise ableiten:

Da die inneren Elektronen dem Atomkern näher sind als die äußeren, müssen auch die positiven Ladungen des Atomkerns auf die inneren Elektronen stärker einwirken als auf die äußeren. Die Zahl der inneren Elektronen ist aber nur bei dem ersten Element jeder Horizontalreihe ebenso groß wie die Zahl der positiven Ladungen am Atomkern. Dann wächst die Zahl der positiven Ladungen von Element zu Element, während die Zahl der inneren Elektronen bei den Elementen jeder Horizontalreihe konstant bleibt. So werden z. B. die beiden inneren Elektronen der ersten Horizontalreihe beim He von 2 positiven Ladungen am Atomkern festgehalten, beim Li von 3 positiven Ladungen, beim B von 4, und so steigt die Zahl der positiven Ladungen weiter bis die beiden inneren Elektronen beim F von 9 positiven Ladungen des Atomkerns festgehalten werden. In der zweiten Horizontalreihe werden die 10 Elektronen des inneren Elektronensystems beim Na von 11 positiven Ladungen beim Cl von 17 positiven Ladungen festgehalten usw.

Je mehr die Zahl der positiven Ladungen eines Atomkerns über die Zahl der diesen umkreisenden inneren Elektronen hinauswächst, desto größer muß die Zentrifugalkraft dieser inneren Elektronen werden, damit diese nicht in den Atomkern hineingezogen werden. Kommt nun zu den inneren Elektronen noch ein äußerer Elektronenring hinzu, so müssen dessen Elektronen sich mit derselben Winkelgeschwindigkeit wie die inneren Elektronen drehen, da sonst Störungen in dem System sich bewegendes Elektronen, die das Atom bilden, eintreten würden. Die Umdrehungsgeschwindigkeit sämtlicher einen Atomkern umkreisenden Elektronen muß daher innerhalb jeder Horizontalreihe von links nach rechts zunehmen, und je größer diese Umdrehungsgeschwindigkeit wird, desto schwerer lassen sich die Elektronen aus der Kreisbahn, in der sie um ihren Atomkern kreisen, herausstoßen. Je schwerer sie sich aber aus ihrem Atomkern herausstoßen lassen, desto schwächer wird nach dem vorher Gesagten der metallische Charakter der Elemente. Es müßte daher eigentlich in allen Horizontalreihen eine Abnahme des metallischen Charakters der Elemente von links nach rechts stattfinden. Tatsächlich aber tritt diese Abnahme nur in der ersten, zweiten, vierten

und sechsten Reihe deutlich zum Ausdruck. Bei den übrigen Horizontalreihen müssen daher noch andere Umstände hinzukommen, die bewirken, daß Elektronen aus den Atomen der dort rechtsstehenden Elemente herausgestoßen werden können, so daß diese Elemente einen metallischen Charakter erhalten.

Die eine dieser Ursachen besteht darin, daß die Wahrscheinlichkeit, daß einzelne Elektronen aus dem Atom herausgestoßen werden können, um so mehr wächst, je größer die Zahl der zu einem Atom gehörenden Elektronen wird. Aus diesem Grunde haben von der siebenten Horizontalreihe ab fast alle Elemente einen metallischen Charakter.

Außerdem muß noch eine andere Ursache vorhanden sein, welche bewirkt, daß auch die rechtsstehenden Elemente der dritten und fünften Horizontalreihe einen metallischen Charakter haben, während die ihnen entsprechenden Elemente der ersten, zweiten, vierten und sechsten Horizontalreihe Metalloide sind. Diese Ursache ist darauf zurückzuführen, daß die Elektronen des äußeren Elektronenringes, dessen Entstehung im vorhergehenden Kapitel abgeleitet wurde, bei den Metalloiden der ersten, zweiten, vierten und sechsten Horizontalreihe vom Atomkern so fest gehalten werden, daß sie nicht aus dem Atomverbande herausgestoßen werden können, während sie bei den entsprechenden Elementen der fünften und dritten Horizontalreihe weniger fest mit dem Atomkern verbunden sind. Wie dies kommt, soll in folgendem gezeigt werden.

Bei den Elementen der ersten Horizontalreihe müssen die Kraftlinien auf ihrem Wege vom Atomkern zu den Elektronen des äußeren Ringes zwar durch den inneren Elektronenring hindurchgehen, werden dabei aber nicht oder doch nur unbedeutend gestört, da im inneren Ringe nur zwei Elektronen vorhanden sind, die sich infolge der gegenseitigen Abstoßung der Elektronen möglichst weit von den äußeren Elektronen entfernt einstellen (vgl. Fig. 5 und 6), so daß sie stets außerhalb des geraden Verbindungsweges zwischen dem Atomkern und einem der äußeren Elektronen liegen.

Bei den rechtsstehenden Elementen der ersten Horizontalreihe stehen daher nicht nur die Elektronen des inneren Elektronensystems, sondern auch die Elektronen des äußeren Elektronenringes mit dem Atomkern in ungestörter direkter Verbindung und werden daher so stark von diesem angezogen, daß sie nicht vom Atomkern fort gestoßen werden können. Da bei diesen rechtsstehenden Elementen der ersten Horizontalreihe demnach keine fortstoßbaren

Elektronen vorhanden sind, können diese Elemente keinen metallischen Charakter haben.

Bei der zweiten Horizontalreihe besteht das innere Elektronensystem laut Tabelle auf Seite 192 aus 10 Elektronen, die sich möglichst symmetrisch um den Atomkern verteilen müssen, was geschieht, wenn sie in zwei Ringen von je 5 Elektronen um den Atomkern rotieren (Fig. 7). Kommt bei den letzten vier Elementen dieser Reihe nun noch ein äußerer Elektronenring hinzu, so erfordert es die Symmetrie, daß dieser sich in der aus Fig. 7a ersichtlichen Weise zu den beiden Elektronenringen des inneren Elektronensystems einstellt. Der grade Kraftlinienweg vom Atomkern zu den Elektronen

Fig. 7.

Schnitt durch die beiden inneren Elektronenringe der II. Horizontalreihe.

Fig. 7a.

Stellung des äußeren Elektronenringes in der II. Horizontalreihe.

Fig. 8.

Schnitt durch die inneren 3 Elektronenringe der III. Horizontalreihe.

Fig. 8a.

Stellung des äußeren Elektronenringes in der III. Horizontalreihe.

des äußeren Ringes geht dann zwischen den beiden inneren Elektronenringen hindurch, so daß die Kraftlinien auch bei dieser Gruppierung der Elektronen ungestört zu den äußeren Elektronen gelangen und diese festhalten können. Daher haben die rechtsstehenden Elemente auch in dieser Horizontalreihe keinen metallischen Charakter.

Bei der dritten Horizontalreihe besteht das innere Elektronensystem aus 18 Elektronen, die sich symmetrisch auf einer Kugelfläche verteilen können, wenn sie sich auf drei Ringe verteilen (Fig. 8), von denen der mittlere 8, die beiden äußeren je 5 Elektronen haben. Kommt dann noch ein äußerer Elektronenring hinzu, so muß dieser sich in der aus Fig. 8a ersichtlichen Weise zu den drei inneren Elektronenringen einzustellen suchen. Bei dieser Gruppierung bilden aber die 8 inneren Elektronen des mittleren inneren Ringes ein Hindernis für die Kraftlinien, die vom Atomkern zu den Elektronen des äußeren Ringes gehen, so daß diese weniger stark vom Atomkern festgehalten werden und daher ausgestoßen werden können. Aus diesem Grunde haben die betreffenden Elemente auf der rechten Seite der drit-

ten Horizontalreihe einen mehr metallischen Charakter als die über ihnen stehenden Elemente in der ersten und zweiten Horizontalreihe.

Bei der vierten Horizontalreihe besteht das innere Elektronensystem laut beigegebener Tabelle aus 28 Elektronen, die sich auf einer Kugelfläche symmetrisch verteilen können, wenn sie sich derart auf 4 Ringe verteilen, daß in den beiden inneren Ringen je 8 in den beiden äußeren Ringen je 6 Elektronen kreisen. Der Symmetrie wegen müssen sich diese 4 Ringe in der aus Fig 9 ersichtlichen Weise zueinander und zum Atomkern einstellen. Kommt dann noch ein äußerer Elektronenring hinzu, so muß dieser sich zu diesem System in der aus Fig. 9a ersichtlichen Weise einstellen, bei welcher der direkte Kraftlinienweg wieder ungestört vom Atomkern zu den Elektronen des äußeren Ringes verläuft. Infolgedessen werden die Elektronen des äußeren Elektronenringes in der vierten

Fig. 9.

Schnitt durch die 4 inneren Elektronenringe der IV. Horizontalreihe.

Fig. 9a.

Stellung des äußeren Elektronenringes in der IV. Horizontalreihe.

Horizontalreihe wieder fester vom Atomkern angezogen werden und die betreffenden Elemente am Schluß dieser Reihe haben wieder einen metalloiden Charakter.

Wenn das innere Elektronensystem bei der ersten Horizontalreihe aus einem Elektronenringe, bei der zweiten Horizontalreihe aus zwei Elektronenringen, bei der dritten Horizontalreihe aus drei Elektronenringen und bei der vierten Horizontalreihe aus vier Elektronenringen besteht, so darf man wohl vermuten, daß es bei der fünften Horizontalreihe aus 5 und bei der sechsten Horizontalreihe aus 6 Elektronenringen besteht.

Bei dem aus 5 Ringen bestehenden inneren Elektronensystem der fünften Horizontalreihe erfordert die Symmetrie, daß der äußere Elektronenring sich in der aus Fig. 10 und 10a ersichtlichen Weise einstellt. Bei dieser Gruppierung wird ebenso wie bei der dritten Horizontalreihe der Kraftlinienweg zwischen dem Atomkern und dem äußeren Elektronenringe durch den mittleren Ring des inneren Elektronensystems gestört, was zur Folge hat, daß die rechtsstehenden Elemente bei der fünften Horizontalreihe ebenso wie bei der dritten einen metallischen Charakter haben. Dagegen kommt am rechten

Ende der sechsten Horizontalreihe wiederum der metalloide Charakter zum Vorschein, weil sich dort der äußere Elektronenring zu den 6 inneren Elektronenringen in der aus Figg. 11 und 11a ersichtlichen Weise derart einstellen muß, daß die Kraftlinien vom Atomkern zwischen den beiden mittleren Ringen des inneren Elektronensystems hindurch ungestört auf direktem Wege zu den Elektronen des äußeren Ringes gelangen können.¹⁾

Durch die oben angestellten Betrachtungen dürfte nachgewiesen sein, daß die Elektronen des äußeren Elektronenringes in der ersten, zweiten, vierten und sechsten Horizontalreihe vom Atomkern stärker

Fig. 10.

Schnitt durch die 5 inneren Elektronenringe der V. Horizontalreihe.

Fig. 10a.

Stellung des äußeren Elektronenringes in der V. Horizontalreihe.

Fig. 11.

Schnitt durch die 6 inneren Elektronenringe der VI. Horizontalreihe.

Fig. 11a.

Stellung des äußeren Elektronenringes in der VI. Horizontalreihe.

festgehalten werden als in der dritten und fünften Horizontalreihe. In diesen beiden Reihen sind daher die Elektronen des äußeren Elektronenringes relativ leicht herausstoßbar und verschiebbar, wodurch die rechtsstehenden Elemente in diesen beiden Horizontalreihen einen metallischen Charakter erhalten, während die ihnen entsprechenden Elemente der ersten, zweiten, vierten und sechsten Horizontalreihe Metalloide sind.

Der metallische Charakter, der bei den rechtsstehenden Elementen der dritten und fünften Horizontalreihe durch die Herausstoßbarkeit der Elektronen des äußeren Elektronenringes hervor-

¹⁾ Der äußere Elektronenring nimmt die in den Figg. 8a und 10a gezeichnete Stellung allerdings nur bei isolierten Atomen ein; verbinden sich zwei Atome zu einem Molekül, so verschiebt sich dieser äußere Elektronenring in der weiter unten auf S. 207 beschriebenen und durch Figg. 13 und 14 veranschaulichten Weise, wodurch aber die Herausstoßbarkeit der äußeren Elektronen nicht aufgehoben wird.

gerufen wird, muß natürlich verschwinden, sobald die Elektronen des äußeren Ringes von diesem fort in eine Valenzstellung gehen, was z. B. bei den höheren Oxyden des Cr und Mn der Fall ist. Deshalb zeigen diese beiden Metalle in ihren höheren Oxyden einen metalloiden Charakter, indem sie Säuren bilden. Die niederen Oxyde des Cr und Mn haben dagegen den basischen Charakter der Metalloxyde, weil bei ihnen Elektronen im äußeren Elektronenringe des Cr und Mn vorhanden sind, die infolge ihrer wenig festen Bindung mit dem Atomkern den metallischen Charakter des Cr und Mn hervorrufen.

4. Die Unterbrechungen des periodischen Systems.

Die Unterbrechungen des periodischen Systems bestehen darin, daß am Anfang der vierten, sechsten und zehnten Horizontalreihe der Tabelle auf S.192 das Edelgas fehlt, und daß jedesmal statt dessen eine Gruppe metallischer Elemente vorhanden ist, die nicht in die eigentlichen Perioden des Systems hineinpassen; es sind dies die Fe-, Ru- und Os-Gruppen.

Aus den Figg. 7 bis 11 läßt sich ableiten, weshalb am Anfang der vierten und sechsten Horizontalreihe keine Edelgase entstanden sind.

Die inneren Elektronensysteme der dritten und fünften Horizontalreihe (Figg. 8 und 10) unterscheiden sich von den inneren Elektronensystemen der vierten und sechsten Horizontalreihe (Figg. 9 und 11) dadurch, daß die beiden zuerst genannten Horizontalreihen einen mittleren Elektronenring haben, der am Äquator der Kugel liegt, während bei den inneren Elektronensystemen der vier ersten Elemente der vierten und sechsten Horizontalreihe keine Elektronen auf dem Äquator kreisen. Nun ist aber die Zentrifugalgeschwindigkeit bzw. die Zentrifugalkraft der am Äquator kreisenden Elektronen am größten. Da nun ferner die Beständigkeit des Elektronensystems um so größer wird, je größer die Zentrifugalkraft der Elektronen ist, so müssen die Elektronensysteme der dritten und fünften Horizontalreihe infolge der größeren Zentrifugalgeschwindigkeit der an ihrem Äquator befindlichen Elektronen beständiger sein als die Elektronensysteme der vierten und sechsten Horizontalreihe. Bei den beiden zuletzt genannten Reihen sind daher die inneren Elektronensysteme nicht so beständig, daß ihre Elektronen schon durch eine ihnen gleich große Anzahl positiver Ladungen am Atomkern in dem Maße festgehalten werden können, daß keine Elektronen vom Atomkern fort in eine Valenzstellung gehen können.

Aus diesem Grunde konnten sich die am Anfang der vierten und

sechsten Horizontalreihe zu erwartenden Edelgase nicht bilden, und an ihrer Stelle haben sich andere Elemente gebildet, die nicht in die eigentlichen Perioden des Systems hineinpassen.

Das erste dieser Elemente ist das Eisen mit 26 negativen Elektronen und 26 positiven Ladungen am Atomkern. Von diesen 26 Elektronen können 6 Elektronen zu den Valenzelektronen gehen, so daß für das innere Elektronensystem des Fe nur 20 Elektronen übrig bleiben. Unter den eben beschriebenen Umständen, die am Anfang der vierten Horizontalreihe auftreten, vermögen offenbar die 26 positiven Ladungen des Fe-Atomkerns nicht mehr als 20 Elektronen so fest zu einem inneren Elektronensystem zu verbinden, daß aus diesem keine Elektronen in die Valenzstellung gehen können. Das auf das Fe folgende Ni bildet mit seinen 27 positiven Ladungen und 27 Elektronen anscheinend ein inneres Elektronensystem von 23 Elektronen, während 4 Elektronen entweder in einen äußeren Elektronenring oder in eine Valenzstellung gehen. Das Co bildet anscheinend ein inneres Elektronensystem von 24 Elektronen, während wiederum 4 Elektronen entweder in den äußeren Elektronenring oder in eine Valenzstellung gehen.

Da das Kupfer auch zweiwertig auftritt, hat es zwei Valenzelektronen, so daß von seinen 29 Elektronen nur 27 für das innere Elektronensystem übrig bleiben. Das Cu gehört daher ebenfalls zu den Elementen der Eisengruppe und nicht in die vierte Horizontalreihe, deren Elemente laut Tabelle auf S. 192 ein inneres Elektronensystem von 28 Elektronen haben. Bei der geringen Beständigkeit, die das Elektronensystem der vierten Horizontalreihe infolge Fehlens eines Elektronenringes am Äquator zeigt, genügen offenbar die 29 positiven Ladungen, die der Atomkern des Cu besitzt, noch nicht, um alle 28 Elektronen in einem inneren System genügend stark festzuhalten. Dagegen paßt das Zn mit seinen zwei Valenzelektronen und 28 inneren Elektronen wieder in die regelmäßigen Perioden hinein. Demnach haben also die 30 positiven Ladungen am Atomkern des Zn genügend Kraft, um 28 innere Elektronen zu einem festen inneren System zu binden. Die auf das Zn folgenden Elemente zeigen ebenso wie dieses ein inneres Elektronensystem von 28 Elektronen und passen in die regelmäßigen Perioden des Systems hinein.

Über die vor Beginn der sechsten Horizontalreihe stehenden Elemente Ru, Rh, Pd lassen sich ganz gleichartige Betrachtungen anstellen und gleichartige Schlüsse ziehen, wie eben über die Elemente Fe, Ni, Co angestellt wurden.

Wenn wir über die selteneren, zum Teil wenig bekannten Elemente, die in die achte und neunte Horizontalreihe gehören, hinwegsehen, so finden wir vor Anfang der zehnten Horizontalreihe noch eine weitere Unterbrechung, in der die Elemente Os, Ir, Pt stehen. Auch diese Unterbrechung ist auf die gleiche innere Ursache zurückzuführen, wie die Unterbrechungen vor der vierten und sechsten Horizontalreihe. Denn auch bei der zehnten Horizontalreihe sind am Äquator der das Atom umgebenden Kugelfläche keine Elektronen vorhanden, deren große Zentrifugalgeschwindigkeit das System beständig macht. Vielmehr müssen der Symmetrie wegen 5 Elektronenringe auf der einen Seite des Äquators und 5 Elektronenringe auf der anderen Seite des Äquators liegen, so daß der Bildung des inneren Elektronensystems bei der zehnten Horizontalreihe die gleichen Schwierigkeiten entgegenstehen, wie bei der vierten und sechsten Horizontalreihe.

Da das Au dreiwertig auftritt und somit 3 Valenzelektronen besitzt, gehört es nicht an die Stelle der zehnten Horizontalreihe, an die man es bisher zu stellen pflegte, sondern zu den Metallen Os, Ir, Pt. In Analogie mit dem Au. und dem Cu ist dann auch noch das Ag zu den Elementen Ru, Rh, Pd zu stellen.

5. Die sich aus der Elektronentheorie ergebenden Klassen der chemischen Elemente.

Die im Vorhergehenden entwickelte Theorie ging davon aus, daß die Atome der chemischen Elemente aus Elektronen aufgebaut sind; dabei wurde unterschieden zwischen Valenzelektronen, die vom Atomkern fort in eine Valenzstellung gehen können, und zwischen einem inneren Elektronensystem, dessen Elektronen so fest mit dem Atomkern verbunden sind, daß sie von demselben nicht fortgehen und in eine Valenzstellung treten können. Infolge dieser beiden verschiedenen Arten von Elektronen wird die Bildung von drei verschiedenen Klassen chemischer Elemente möglich, nämlich:

1. Elemente, welche kein inneres Elektronensystem, sondern nur Valenzelektronen haben. Zu dieser Klasse gehört nur ein einziges Element, nämlich der Wasserstoff.
2. Elemente, welche nur ein inneres Elektronensystem und keine Valenzelektronen haben. Zu dieser Klasse gehören die Edelgase, die nur einatomig auftreten und keine Verbindungen eingehen können, weil sie eben keine Valenzelektronen haben.
3. Elemente, welche sowohl ein inneres Elektronensystem als auch Valenzelektronen haben. Zu dieser Klasse gehören die Metalle und Metalloide.

Bei den Metalloiden sind die Elektronen des inneren Elektronensystems so fest mit dem Atomkern verbunden, daß nach dem Fortgang der Valenzelektronen keine Elektronen mehr aus dem Atom herausgestoßen werden können. Dagegen entstehen die Metalle dadurch, daß Elektronen durch irgendwelche Ursachen aus den Atom herausstoßbar gemacht werden. Die hierbei in Betracht kommenden Ursachen sind im Vorhergehenden wie folgt abgeleitet:

a) Die linksstehenden Metalle (Alkalimetalle, alkalische Erden usw.) erhalten ihren metallischen Charakter dadurch, daß bei ihnen Elektronen des inneren Elektronensystems infolge ihrer geringen Zentrifugalkraft am Atomkern verschoben und aus dem Atom herausgestoßen werden können, wie im Kapitel 3 abgeleitet.

b) Die rechtsstehenden Metalle der dritten und fünften Horizontalreihe (V, Cr, Mn, Mo) erhalten ihren metallischen Charakter dadurch, daß bei ihnen Elektronen des äußeren Elektronenringes am Atomkern verschoben und aus dem Atom herausgestoßen werden können, wie ebenfalls im Kapitel 3 abgeleitet.

c) Bei den außerhalb der eigentlichen Perioden stehenden Metallen

Fe,	Ni,	Co,	Cu,
Ru,	Rh,	Pd,	Ag,
Os,	Ir,	Pt,	Au.

ist nach den Ausführungen des Kapitels 4 das innere Elektronensystem relativ wenig beständig und außerdem ist auch noch ein äußerer Elektronenring vorhanden. Daher können Elektronen sowohl aus den inneren Elektronensystem als auch aus dem äußeren Elektronenring gestoßen werden, weshalb der metallische Charakter bei diesen Elementen besonders stark entwickelt ist.

d) Auch bei den in der vierten und sechsten Horizontalreihe linksstehenden Elementen (Zn und Cd) ist der metallische Charakter stark entwickelt, weil keiner der Elektronenringe ihres inneren Elektronensystems auf dem Äquator der das Atom umgebenden Elektronenkugel fläche liegt. Diese Ursache, durch welche die Elektronen nach den Ausführungen des Kapitels 4 eine geringere Durchschnittszentrifugalkraft erhalten und daher leichter aus dem Atom herausgestoßen werden können, fällt bei den in diesen beiden Reihen rechtsstehenden Elementen fort, weil dort der äußere Elektronenring hinzukommt, so daß wieder eine ungerade Zahl Elektronenringe vorhanden ist, von denen sich der mittlere am Äquator einstellen muß.

e) Je größer die Zahl der zu einem Atom gehörenden Elektronen wird, je größer wird auch die Wahrscheinlichkeit, daß eine mehr oder minder große Anzahl Elektronen aus dem Atom herausgestoßen werden kann. Deshalb nimmt der metallische Charakter der Elemente mit wachsender Elektronenzahl bzw. mit wachsendem Atomgewicht in den verschiedenen Vertikalreihen regelmäßig zu und von der siebenten Horizontalreihe ab haben alle Elemente (mit Ausnahme der Edelgase) einen metallischen Charakter.

Bei den Elementen, die rechts in den Perioden stehen, haben die Elektronen (wie im Kapitel 3 abgeleitet) eine große Zentrifugalkraft und sind daher nicht leicht herausstoßbar. Diese Elemente haben daher einen metalloiden Charakter, wenn nicht Elektronen durch sekundäre Einflüsse herausstoßbar gemacht werden, was bei den eben unter b) und e) genannten Elementen der Fall ist.

Die in der ersten Horizontalreihe stehenden Elemente unterscheiden sich von den anderen Elementen dadurch, daß sämtliche den Atomkern umkreisenden Elektronen mit diesem in einer Ebene liegen, so daß der Atomkern nicht von einer aus Elektronen gebildeten Kugelfläche umgeben wird. Dies hat zur Folge, daß ein größerer Teil der von dem Atomkern ausgehenden Kraftlinien zu den außerhalb des eigentlichen Atoms befindlichen Valenzelektronen gelangen kann als bei den Elementen der folgenden Horizontalreihen, bei denen der Atomkern von mehreren auf einer Kugelfläche liegenden Elektronenringen umgeben ist, vgl. Fig. 1. Infolgedessen ist die Fähigkeit, chemische Verbindungen mit anderen Elementen einzugehen, bei den Elementen der ersten Horizontalreihe am größten. Je größer die Zahl der den Atomkern umkreisenden Elektronenringe in den folgenden Horizontalreihen wird, desto weniger Kraftlinien können vom Atomkern zu den außerhalb des Atoms kreisenden Valenzelektronen gelangen und infolgedessen verringert sich die Tendenz chemische Verbindungen einzugehen in der Regel von Horizontalreihe zu Horizontalreihe.

6. Atomvolumina.

Die Größe der Atomvolumina wird in erster Linie dadurch geregelt, daß die Zahl der positiven Ladungen am Atomkern innerhalb jeder Horizontalreihe von links nach rechts zunimmt, während die Zahl der Elektronen des inneren Elektronensystems innerhalb jeder Horizontalreihe konstant bleibt. Infolge dieser Zunahme der positiven Ladungen müssen die Elektronen des inneren Elektronen-

systems um so näher an den Atomkern herangezogen werden, je mehr das betreffende Element rechts steht. Der Umfang eines Atoms müßte daher bei den Elementen einer Horizontalreihe regelmäßig von links nach rechts abnehmen, wenn nicht noch andere Umstände hinzukämen. Von besonderer Bedeutung ist dabei der bei den rechts stehenden Elementen jeder Horizontalreihe noch hinzutretende äußere Elektronenring. Dieser vermehrt natürlich den Umfang der Atome, wie ein Vergleich der Fig. 4 mit Fig. 5, der Fig. 7 mit 7a, der Fig. 8 mit 8a usw. ohne weiteres erkennen läßt. Die Vermehrung

Fig. 12. Atomvolumina.

des Atomvolumens durch den äußeren Elektronenring wird um so größer, je mehr Elektronen er enthält. Bei zunehmender Zahl der am Atom zurückbleibenden Valenzelektronen können diese sich event. auch in mehreren konzentrischen Ringen einstellen, die aber alle in der Mittelebene des Atoms liegen müssen. Wie die Kurve in Fig. 12 zeigt, tritt diese Zunahme des Atomvolumens deutlich in Erscheinung bei den letzten Gliedern der ersten Horizontalreihe (N, O, F), der zweiten Horizontalreihe (Si, P, S, Cl), der vierten Horizontalreihe (Ge, As, Se, Br) und der sechsten Horizontalreihe (Sn, Sb, Te, J). Dagegen fehlt die zu erwartende Zunahme des Atomvolumens bei der dritten und fünften Horizontalreihe. Auch dieser Unterschied zwischen der zweiten, vierten und sechsten Horizontalreihe einerseits und der dritten und

fünften Horizontalreihe andererseits ist darauf zurückzuführen, daß dieser äußere Elektronenring nur bei den Elementen der dritten und fünften Horizontalreihe leicht verschoben werden kann.

Verbinden sich 2 Atome dieser Elemente zu einem Molekül, so wird der leicht verschiebbare äußere Elektronenring durch die Abstoßungskräfte, die die Elektronen dieser beiden Atome ausüben, bis an das äußerste Ende seines Atoms geschoben (Fig. 13 und 14), wo er in das Bereich der vom Atomkern ausgehenden positiven Kraftlinien gelangt, von diesen festgehalten und durch engere Zusammenziehung seiner Elektronen an seinem Umfang vermindert wird.¹⁾ Aus diesem Grunde trägt der äußere Elektronenring bei den Elementen der dritten und fünften Horizontalreihe, bei denen er in der

Fig. 13.

Fig. 14.

Verschiebung des äußeren Elektronenringes der III. Horizontalreihe aus der Stellung, die er bei Einzelatomen einnimmt (Fig. 13), in die Stellung, die er bei zu Molekülen verbundenen Atomen einnimmt (Fig. 14).

eben beschriebenen Weise verschoben werden kann, nicht viel zur Vermehrung des Atomvolumens bei. In diesen beiden Horizontalreihen kommt daher das oben abgeleitete Grundgesetz, nach dem das Atomvolumen bei den Elementen einer Horizontalreihe von links nach rechts ständig abnehmen muß, deutlich zum Ausdruck.

Daß die in den linken Hälften der IV. und VI. Horizontalreihe stehenden Elemente so geringe Atomvolumina haben, ist wohl wenigstens zum Teil zurückzuführen auf das Fehlen eines am Äquator stehenden Elektronenringes. Die geringen Atomvolumina der außerhalb der eigentlichen Perioden stehenden Elemente der Fe-, Ru- und Os-Gruppe deuten ebenfalls darauf hin, daß auch bei diesen Ele-

¹⁾ Diese Verminderung des Ringdurchmessers ist jedoch nicht so stark, daß dadurch die Herausstoßbarkeit seiner Elektronen aufgehoben würde, durch welche der metallische Charakter bei diesen Elementen gemäß den Ausführungen im Kapitel 3 hervorgerufen wird.

menten kein Elektronenring an Äquator vorhanden ist. Außerdem spricht wohl noch folgender Umstand mit:

Bei den genannten metallischen Elementen hat die leichte Verschiebbarkeit der Elektronen zur Folge, daß sich leicht einige Elektronen eines Moleküls einigen positiven Stellen eines benachbarten Moleküls gegenüberstellen können, wodurch die Moleküle stärker aneinander gezogen und die Zahl der in der Volumeinheit enthaltenen Moleküle vergrößert wird, so daß die Größe des Volumens, das auf das einzelne Molekül bzw. auf die in ihm enthaltenen Atome entfällt, vermindert wird. Ebenso sind auch bei der vierten und sechsten Horizontalreihe die Elektronen des inneren Elektronensystems wegen ihrer geringen Durchschnittsfugalkraft (Kapitel 4) leicht verschiebbar, weshalb auch die in den linken Hälften dieser Reihen stehenden Elemente (Zn und Ga sowie Cd und Jn) kleine Atomvolumina zeigen, während in den rechten Hälften dieser Reihen die Atomvolumina durch den in diesen Reihen nicht verschiebbaren äußeren Elektronenring vergrößert werden.

Da die Edelgase am meisten links stehen, müßten sie eigentlich die größten Atomvolumina aufweisen. Tatsächlich aber werden die Atomvolumina der Edelgase dadurch vermindert, daß bei diesen die Valenzelektronen fehlen. Letztere vermehren die Atomvolumina um so mehr, je größer die Entfernung ist, in der sie sich von den Atomkernen einstellen. Diese Entfernung ist bei den Elementen der ersten Horizontalreihe am kleinsten, weil das innere Elektronensystem bei dieser nur zwei Elektronen hat, die infolge ihrer geringen Anzahl auch nur geringe Abstoßungskräfte auf die Valenzelektronen ausüben. Dagegen wächst die Stärke dieser Abstoßung und damit die Entfernung, in der die Valenzelektronen sich von den Atomkernen einstellen, mit zunehmender Elektronenzahl von Horizontalreihe zu Horizontalreihe. In der ersten Horizontalreihe wird daher das Atomvolumen des Li nur so wenig vermehrt, daß es immerhin noch kleiner bleibt als das des He. In den folgenden Horizontalreihen steigt aber die durch die Valenzelektronen bewirkte Zunahme der Atomvolumina derart, daß die Atomvolumina von K, Rb und Cs erheblich größer als die der vorhergehenden Edelgase werden.

Charlottenburg. IV.

Bei der Redaktion eingegangen am 22. Januar 1919.