

Das periodische System der Elemente.

455. Wenn man die Elemente nach zunehmenden Atomgewichten aneinander reiht, so erhält man die Anordnung

H, Li, Be, Bo, C, N, O, Fl, Ne, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl usw.
1, 7, 9, 11, 12, 14, 16, 19, 20, 23, 24, 27, 28, 31, 32, 35,5.

Läßt man Wasserstoff und die Glieder der Argongruppe bei Seite, so erkennt man, daß vom Lithium zum Fluor eine regelmäßige Veränderung der Eigenschaften der Elemente stattfindet in dem Maße, wie das Atomgewicht zunimmt. Der metallische Charakter wird immer schwächer, bis zum Auftreten des ausgesprochensten Metalloidcharakters. Zu gleicher Zeit wächst die Wertigkeit dem Sauerstoff gegenüber von 1 bis 7, dem Wasserstoff gegenüber wächst sie vom Lithium zum Kohlenstoff von 1 bis 4, um dann allmählich wieder zur Einheit herabzusinken (Fluor).

Vom Fluor ab verursacht die Zunahme des Atomgewichtes einen plötzlichen Wechsel in der Reihe, und von einem sehr wirksamen Metalloid gelangt man ohne Übergang zu einem Alkalimetall, einem nahen Verwandten des Lithiums. Stellt man das Natrium unter das Lithium, so bekommt man die beiden parallelen Reihen

Li, Be, B, C, N, O, Fl (Ne)
Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl (Ar)

Man kann feststellen, 1. daß in der zweiten Reihe die Eigenschaften dieselbe fortschreitende Veränderung erleiden wie in der ersten, 2. daß die Elemente, die einander in den Vertikalreihen entsprechen, den gleichen natürlichen Familien angehören.

Mendelejeff und Lothar Meyer haben diese Gruppierung auf alle Elemente ausgedehnt. Seitdem die beiden Gelehrten dies Klassifikationssystem schufen (1869) wurden einige neue Elemente entdeckt. Die nachstehende Tabelle, die der ursprünglichen von Mendelejeff gegenüber einige Veränderungen aufweist, gibt die Form wieder, in der man heutzutage die von Mendelejeff und Lothar Meyer vorgeschlagene Klassifikation vornimmt.

Gruppe IX nimmt einen besonderen Platz ein. Sie enthält drei Triaden von Elementen, deren jede aus sehr ähnlichen Metallen besteht, (Fe, Ni, Co, Os, Ir, Pt) die in ihren Atomgewichten sich nur wenig unter-

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
1	He 4	H 1							
2	Li 6,97	Be 9,01		B 10,86	C 11,92	N 13,93	O 15,87	F 18,91	
3	Na 22,83	Mg 24,1		Al 26,91	Si 28,18	P 30,75	S 31,83	Cl 35,18	
4	K 38,82	Ca 39,76		Sc 43,78	Ti 47,79	V 51	Cr 51,74	Mn 54,57	Co 59,07
5		Zn 64,91		Ga 69,5	Ge 71,9	As 74,52	Se 78,58	Br 79,34	
6	Kr 81,6	Rb 84,75		Y 88,23	Zr 89,7	Nb 93	Mo 95,8		Pd 106
7		Ag 107,11		In 113,1	Sn 118,1	Sb 119,44	Te 127,6 (125,36)	J 125,89	
8	X 128	Cs 131,9		Ls 138,9	Ce 130,2	Pr 139,4	Nd 142,5	Sa 149,2	
9				Ga 156	Tb 158	Dy 161	Tu 169,4		
10				Yb 171,8		Ta 182,4	Wo 183		Os 189,6
11		Au 195,78		Tl 202,6	Pb 205,36	Bi 206,5	Ur 237,7		Pt 193,4
12			Ra 224(?)		Th 230,8				

scheiden und deren Atomvolumina beinahe identisch sind. Alle diese Metalle sind zäh und dehnbar; sie haben einen sehr hohen Schmelzpunkt, der in jeder Triade mit zunehmendem Atomgewicht sinkt. (Fe ist schwerer schmelzbar als Ni und dieses schwerer als Co.) Alle bilden gefärbte Ionen, vereinigen sich mit Kohlenoxyd und verdichten leicht Gase an ihrer Oberfläche. Sie können acht Valenzen zur Verfügung stellen [OsO_4 , $\text{Ni}(\text{CO})_4$]. Diese Gruppe diente als Übergang zwischen Gruppe 8 der Halogene und Gruppe 2 der Alkalimetalle bei der ursprünglichen Anordnung von Mendelejeff. Aber seit der Entdeckung des Argons und seiner Stammesverwandten hat die Mendelejeffsche Tabelle eine wesentliche Vervollständigung durch die Hinzufügung der Argongruppe empfangen. Diese Elemente, die nicht die Fähigkeit haben, sich mit anderen zu vereinigen, und deren Valenz folglich gleich Null erscheint, denen man ferner weder die Eigenschaft eines Metalls noch eines Metalloids zuschreiben kann, haben sich als verbindende Elemente zwischen die achte Gruppe und die der Alkalimetalle eingeschoben.

Der Wasserstoff nimmt im System einen besonderen Platz ein. Schon von Anfang an wurde darauf hingewiesen, daß dieses Element sich keiner bekannten natürlichen Familie einfügt.

Die Stellung mancher Elemente in der Tabelle erscheint paradox, so z. B. die des Mangans, eines Metalles, das neben den Halogenen steht. Später wird sich zeigen, daß dieses Element eine Übermangansäure HMnO_4 bildet, die der Überchlorsäure HClO_4 analog ist, wodurch sein Platz in der Aufstellung gerechtfertigt wird.

Ebenso sieht man in derselben Gruppe die Alkalimetalle, die die metallische Eigenschaft am vollkommensten darstellen, und Elemente wie Kupfer, Silber, Gold, wenig aktive Metalle, deren Verwandtschaftsbande mit dem Kalium z. B. auf den ersten Blick nicht gerade sehr überzeugend zu sein scheinen. Doch ist die Unähnlichkeit nicht so groß, wie man glauben sollte. So bildet das Silber ein Oxyd, das eine starke Base ist, sein Nitrat ist isomorph mit dem Kaliumnitrat und teilt allein mit den Alkalinitraten die Fähigkeit, sich durch Hitze unter Bildung eines Nitrites zu zersetzen.

456. Bei der Prüfung der Tabelle sieht man, daß die Elemente darin in 9 vertikale Gruppen und 12 horizontale Perioden geteilt sind, daß dieselben physikalischen und chemischen Eigenschaften periodisch nach einer Reihe von 9 oder 12 Elementen wiederkehren. Daher hat man diesem Versuch einer Klassifikation den Namen „periodisches System“ gegeben. Die erste Periode, die bisher nur den Wasserstoff enthält, und die Perioden, die durch Elemente von hohen Molekulargewichten gebildet werden, sind sehr unvollständig. Das berechtigt zu dem Schluß, daß noch eine recht beträchtliche Zahl einfacher Körper vorkommt, die noch zu entdecken sind (vgl. weiter unten).

In jeder Periode nehmen regelmäßig die metallischen Eigenschaften von der 2. zur 8. Gruppe ab. Die Elemente, die zu den Gruppen 1 und 9 gehören, bilden die Übergänge zu den folgenden Perioden (vgl. 455).

Die vertikalen Gruppen umfassen im Gegenteil Elemente derselben Familie. Um die Ähnlichkeiten und die Abweichungen der Elemente

derselben Gruppe in Erscheinung zu bringen, ist jede von ihnen in zwei Untergruppen geteilt worden, die periodisch abwechseln, und analoge Elemente enthalten. So findet man in der 2. Gruppe einerseits die Reihe Kalium, Rubidium, Caesium, die aus den wahren Alkalimetallen besteht, andererseits die Reihe Kupfer, Silber, Gold, analoge Metalle, die eine natürliche Familie bilden. Ebenso umfasst Gruppe 3 die homogene Familie der Erdalkalien und die Reihe der Magnesiummetalle.

Die Abwechselung trifft nicht für die beiden ersten Perioden zu. Wir werden später wahrnehmen, daß alle Elemente, die der ersten Periode angehören, in den Gruppen, zu denen sie gehören, ein wenig abweichen, so wie es schon für das Fluor (vgl. 167), den Sauerstoff (vgl. 254) und den Stickstoff (vgl. 369) beobachtet wurde, und wie wir es auch später bei dem Lithium wahrnehmen werden.

Während in den Perioden eine positive Änderung des Atomgewichtes den metallischen Charakter verringert, wächst er in jeder Gruppe oder Untergruppe mit dem Atomgewicht. Beispielsweise ist das Baryum metallischer als das Strontium und dieses mehr als das Calcium. Das Brom ist ein schwächeres Metalloid als das Chlor und dieses weniger negativ als das Fluor.

Die Wertigkeit nimmt um eine Einheit zu, wenn man von einer Gruppe zur folgenden übergeht. Null in Gruppe 1, erreicht sie acht in der 9. Gruppe.

Nicht bloß die chemischen Eigenschaften, sondern auch gewisse physikalische weisen einen regelmässigen Übergang in jeder Periode auf. Das ist hauptsächlich der Fall für die Dichte, das Atomvolumen, (man nennt Atomvolumen das Verhältnis des Atomgewichtes zur Dichte im festen Zustand) den Schmelzpunkt. Die folgende Tabelle zeigt dies Verhalten für die erste Periode.

	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl
					rot		
Atomvolumen	23,7	23,9	10,6	11,4	13,5	15,7	25,5
Spezifisches Gewicht . . .	0,97	1,75	2,67	2,49	2,14	2,06	1,33
Schmelzpunkt in absoluten							
Graden	369	1023	1123	1723	523	328	198

Das Atomvolumen nimmt vom ersten Glied bis zum 4. ab, um sich dann bis zum letzten wieder zu erhöhen; das spezifische Gewicht und der Schmelzpunkt steigen im Gegenteil bis zum Silicium an, um dann bis zum Halogen herabzusinken. Eine ähnliche Regelmäßigkeit findet man bei den Änderungen der physikalischen Eigenschaften in den Gruppen wieder. So schmilzt das Magnesium bei 1023°, das Zink bei 676°, das Cadmium bei 193° (Gruppe 3).

457. Das, was man für die periodische Anordnung als eigentümlich ansehen muß, ist das Prinzip, daß die chemischen und physikalischen Eigenschaften eines Elementes Funktionen des Platzes sind, den es im System einnimmt, folglich auch seines Atomgewichtes. Die Eigenschaften eines Elementes werden bestimmt durch die Natur seiner Nachbarn, im besondern durch die derer, die in der Periode und Gruppe, der es angehört, unmittelbar benachbart sind. Dieser Fundamentalsatz ist von

Mendelejeff ausgesprochen worden, und er hat ihm gestattet, die Eigenschaften unbekannter Elemente vorauszusehen, eine Tatsache von ganz ungewöhnlicher Bedeutung. Als dieser Gelehrte sein Anordnungssystem schuf, waren mehrere einfache Körper, die sich heute in der Reihe vorfinden, noch unbekannt; so das Gallium (Ga), das Germanium (Ge), das Scandium (Sc). Im System waren also an den von diesen Elementen eingenommenen Stellen Lücken. Mendelejeff sagte die Eigenschaften der einfachen Körper und ihrer wichtigsten Verbindungen, falls sie existieren würden, voraus, indem er sie von denen der benachbarten Elemente ableitete. Einige Jahre später wurden hintereinander das Gallium, das Germanium und das Scandium entdeckt, und die Übereinstimmung zwischen den Eigenschaften, wie sie Mendelejeff vorausgesagt hatte, und denen, die man beobachtete, war so vollständig wie möglich. Diese Tatsache hat in der Wissenschaft ihresgleichen nur in der Entdeckung des Planeten Neptun durch Leverrier, und hat den Wert des von dem berühmten russischen Gelehrten aufgestellten Systems der Anordnung bekräftigt.

Trotz alledem muß man zugeben, daß es in seiner gegenwärtigen Form noch einige Unvollkommenheiten darbietet, daß verschiedene Fälle von Annäherung etwas gezwungen sind, und daß einige Elemente nur dann in der natürlichen Familie stehen, der sie angehören, wenn man die Reihenfolge der Atomgewichte unterbricht. Der auffallendste Fall dieser Art wird durch das Tellur geliefert, dessen Atomgewicht höher ist, als das des Jods, wodurch dieses Element nicht in die Gruppe des Schwefels, sondern in die Gruppe 9 kommen würde. Wenn das Tellur nun auch nicht dem Schwefel und dem Selen vollkommen gleich ist (vgl. 254), so entfernt es sich doch noch weiter von den Metallen der Gruppe des Platins, und die Gruppe des Schwefels ist die einzige, in die man es passend einreihen kann. Allerdings muß hinzugefügt werden, daß kürzlich eine Arbeit über das Atomgewicht des Tellurs veröffentlicht wurde, wonach diesem Element das Atomgewicht 125,3 zukommt. Wird dieses Ergebnis bestätigt, so wäre die Stellung des Tellurs im periodischen System nicht mehr zweifelhaft.

Trotz seiner noch unvollständigen Form hat das periodische System der Wissenschaft bereits große Dienste geleistet. Die Unmöglichkeit, in der sich Mendelejeff befand, verschiedene Elemente in seiner Tabelle unterzubringen, wenn er die Atomgewichte annahm, die zur Zeit der Schöpfung seines Systems der Anordnung als richtig galten, brachte ihn dazu, die Atomgewichte mehrerer Elemente zu revidieren, vor allen Dingen die des Berylliums, des Indiums, des Goldes und des Osmiums. Seine Voraussagen wurden in der Folge bestätigt. Ebenso war er der erste, der feststellte, daß das Aluminium ein dreiwertiges Element sein müsse; man hatte bis dahin allgemein angenommen, indem man sich auf den Isomorphismus der Aluminium- und der Eisensalze stützte, daß das Aluminium der Gruppe des Eisens angehörte, in der man es aber bei dem gegebenen Atomgewicht von 27 unmöglich unterbringen konnte.

Zahlreiche schon angestellte Versuche, dem periodischen System eine Form zu verleihen, die in vollkommenerer Art das Gesetz der Periodizität in den Eigenschaften der Elemente zum Ausdruck bringt,

waren bisher ohne Erfolg; ebenso erfolglos die Bestrebungen, ihm einen mathematischen Ausdruck zu geben.

Jedenfalls steht fest, daß die Eigenschaften eines Elementes eine Funktion seines Atomgewichtes sind und mithin auch der Menge an Materie, die sein Atom enthält. Dies führt uns zur Annahme des Vorhandenseins eines einzigen ursprünglichen Stoffs, der bisher unbekannt ist, und dessen verschiedene Verdichtungszustände die Atome der Körper bilden, die man als Elemente bezeichnet. Indem man sich auf die bemerkenswerten Umwandlungen stützte, die das Radium darbietet, hat man die Hypothese ausgesprochen, daß die Atome durch die Vereinigung einer gewissen Zahl von Elektronen gebildet würden; dann würden die Elektronen die Urmaterie bilden, und die Atome der einzelnen verschiedenen Körper würden nur verschiedene Zustände davon darstellen.

Die periodische Anordnung räumt mit der alten Einteilung der Elemente in Metalle und Metalloide auf. Vor Beginn des Werkes wurde schon an verschiedenen Stellen darauf hingewiesen, wie gekünstelt diese Einteilung ist. Dagegen faßt das periodische System alle Elemente in einer Gesamtheit zusammen, in der jeder der Bestandteile als Bindeglied zwischen den Elementen dient, die er trennt.

458. Die Bestimmung des Platzes eines Elementes im periodischen System setzt vor allem die Kenntnis seines Atomgewichtes voraus. Eine Bestimmungsmethode dieser Konstanten, die auf rein chemischen Verfahren beruht, wurde bereits angegeben (vgl. 40), wobei gleichzeitig darauf hingewiesen wurde, daß die chemische Methode keine absolute Gewißheit gibt. Die Bestimmung des Molekulargewichtes einer Verbindung, die ein Element von bekanntem Atomgewicht enthält, gestattet, den Höchstwert des Atomgewichtes festzustellen.

Um etwa beim Beispiel des Chlorzinks zu bleiben (vgl. 48), wurde das Molekulargewicht dieses Körpers zu 133,4 befunden. Die Analyse ergab, daß 133,4 Teile Chlorzink 64,92 Teil Zink enthalten. Aber diese Zinkmenge kann aus einem oder mehreren Atomen bestehen. Also ist 64,92 der Höchstwert des Atomgewichtes des Zinks. Das Atom dieses Metalles könnte jedoch 2,3 usw. n mal kleiner sein, n -Atome könnten eine Gruppe bilden, die 64,92 wiegt und zwei Chloratome zu binden fähig ist. Die Wahl des Wertes von n beruht auf dem Gesetz von Dulong und Petit.

459. Gesetz von Dulong und Petit. Das Produkt des Atomgewichtes eines Elementes und seiner spezifischen Wärme in festem Zustande ist gleichmäßig und gleich 6,4. Dies Produkt ist die Atomwärme, d. h. die Wärmemenge, die nötig ist, um die Temperatur eines Grammatoms eines Elementes um 1° zu erhöhen. Das Gesetz ist nur annähernd genau, die Atomwärme verschiedener Elemente nähert sich mehr oder weniger 6,4, Abweichungen von einigen Zehnteln sind jedoch nicht selten. Einige Elemente folgen gar nicht dem Gesetz, ihre Atomwärme erreicht nicht 5, z. B. C 1,8, Si 4,6, B 2,8.

Das Gesetz kann übrigens nicht absolut genau sein, denn die innere Arbeit, die die Wärme leistet, ist verschiedenwertig nach der Natur der Körper. Es liegt auf der Hand, daß beispielsweise bei den Elementen,

deren spezifische Wärme in der Nähe des Schmelzpunktes bestimmt wird, die Wärmemenge, die der inneren Arbeit dient, beträchtlich ist, während sie fast Null wird bei den Körpern, die vom Schmelzpunkt weit entfernt sind. Diese müssen also eine viel kleinere Atomwärme besitzen als jene. Kohlenstoff und Bor sind vollständig unschmelzbare Körper, daher die ungeheure Abweichung ihrer Atomwärme. Bestimmt man diese jedoch bei hohen Temperaturen (1000°) d. h. näher dem Schmelzpunkt, so beobachtet man, daß die Nichtübereinstimmung wesentlich abnimmt, und wenn die Messungen der spezifischen Wärme bei sehr hohen Temperaturen leicht wäre, würde man wahrscheinlich bei 3000° für den Kohlenstoff und die anderen abweichenden Körper eine normale Atomwärme finden. Hauptsächlich die Metalloide mit kleinem Atomgewicht (< 30), bilden die Ausnahmen des Gesetzes von Dulong und Petit. Für die Metalle trifft dieses Gesetz mit einer sehr befriedigenden Genauigkeit zu.

Bemerkenswerterweise bewahren die Elemente in ihren festen Verbindungen die ihnen zukommende Atomwärme (Gesetz von Neumann und Kopp). Das Produkt der spezifischen Wärme einer festen Verbindung mit ihrem Molekulargewicht ist gleich der Summe der Atomwärmen ihrer Bestandteile. Die spezifische Wärme z. B. von CaCO_3 ist = 0,203, sein Molekulargewicht = 100, die molekulare Wärme also = 20,3. Addiert man die Atomwärmen, so findet man andererseits

Atomwärme des Calciums	6,4
" , Kohlenstoffs	1,8
" von 3 Atomen Sauerstoff 4 mal 3	12
	Summe 20,2

Die Übereinstimmung ist sehr befriedigend.

Umgekehrt kann man die Atomwärme und folglich die spezifische Wärme eines Elementes im festen Zustand dadurch bestimmen, daß man sie aus der Molekularwärme seiner Verbindungen ableitet. Das ist für einige Elemente wie das Chlor, den Wasserstoff gemacht worden.

Ogleich das Gesetz von Dulong und Petit nur ein annäherndes ist, gestattet es doch häufig, die Wahl unter verschiedenen Atomgewichten zu treffen. Nimmt man wieder das Beispiel des Chlorzinks, so hätte man zwischen den Atomgewichten 64,92, 32,46, 21,64 usw. zu wählen. Die spezifische Wärme des Zinks ist 0,0935. Die Division von 6,4 durch diese Zahl gibt 68,4. Von den verschiedenen möglichen Werten für das Atomgewicht des Zinks kommt 64,92 dem Wert 68 am nächsten, ihn nimmt man daher als Atomgewicht des Zinks an.