1 Eine kurze Geschichte des Periodischen Systems der Elemente

Das Periodische System der chemischen Elemente, kurz Periodensystem (PSE) genannt, ordnet die chemischen Elemente nach ihrem Atombau und ihren davon abhängigen chemischen und physikalischen Eigenschaften.

Der griechische Philosoph *Demokrit* von Abdera (um 460 bis 370 v. Chr.) entwickelte die von seinem Lehrer Leukipp von Milet begründete Lehre der antiken Atomistik. Er bezeichnete *Atome* als Grundbausteine der materiellen Welt. Seine philosophischen Gedanken, dass sich Atome (griechisch *átomos* = der letzte unteilbare Urstoff der Materie) nach Form, Größe und Schwere unterscheiden, haben ihre naturwissenschaftliche Erklärung erst im 19. und 20. Jahrhundert erhalten. Aus dem Zusammenspiel der Atome erklärte Demokrit auch die grundsätzlichen Eigenschaften der Dinge und deren Veränderungen – Begriffe, die wir heute chemisch durch Substanz oder Stoff für Dinge und chemische Reaktionen für Veränderungen ersetzen.

Eine naturwissenschaftlich orientierte Atomlehre entwickelte sich erst ab dem 17. und 18. Jahrhundert. Der Engländer Robert *Boyle* (1627–1691) stellte in seinem Werk *The Sceptical Chemist* (1661) seine Auffassung von der Existenz einer Urmaterie als Grundbaustein aller Körper vor und erklärte deren unterschiedliche Eigenschaften ähnlich wie Demokrit aus der ungleichen Größe, Gestalt, Bewegung und Lage der Teilchen. Mit dem Begriff »Teilchen« wurde aus der philosophischen Atomistik eine atomistische Korpuskulartheorie (lateinisch *corpusculum* = Körperchen; Korpuskel als kleinste Teilchen der Materie, Elementarteilchen). Boyle vertrat die Meinung, ein zusammengesetzter Körper, nach unserem Verständnis eine chemische Verbindung, könne nur zersetzt, d.h. zerlegt werden, wenn die Annäherung der kleinsten Teilchen untereinander (die chemische Bindung) durch einen zersetzenden Körper mit stärkerer Annäherungskraft überwunden würde. Er forderte zu einer Analyse, zur Zerlegung eines Stoffes in seine Grundbestandteile, die Elemente, auf und stellte damit die Elemente Feuer, Wasser, Luft und Erde des Aristoteles (384–322 v. Chr.) und Salz, Schwefel und Quecksilber des *Paracelsus* (1493–1541) in Frage. 1680 wurde Boyle Präsident der Royal Society, der 1668 in London gegründeten ältesten Akademie der Wissenschaften.

Im 17. Jahrhundert wurde ein bis dahin unbekanntes Element entdeckt, der Phosphor (1669). Der Hamburger Alchemist und Chemikalienhändler Hennig *Brand* (gest. 1710) hatte auf der Suche nach Gold und nach dem Stein der Weisen beim Glühen des Rückstandes von Harn ein »kaltes« Leuchten beobachtet, hervorgerufen durch weißen Phosphor.

Im Altertum waren nur 9 Stoffe bekannt, die wir heute als Elemente bezeichnen: Kohlenstoff, Schwefel, Eisen, Zinn, Blei, Kupfer, Quecksilber, Silber und Gold. Bis 1600 kamen Arsen, Antimon, Wismut (Bismut) und Zink hinzu. Erst im 18. Jahrhundert wurden 17 weitere Elemente entdeckt, unter ihnen das Gas Sauerstoff (1774), womit auch Oxidationsvorgänge wie das Rosten von Eisen erklärt werden konnten. Der französische Chemiker Antoine *Lavoisier* (1743–1794), dessen Leben in der Zeit der französischen Revolution wegen seiner Tätigkeit als Steuereinnehmer unter dem Fallbeil endete, entwickelte eine Theorie der Oxidations- und Reduktionsvorgänge auf der Grundlage des Sauerstoffs und wurde zu einem Wegbereiter der wissenschaftlichen Chemie. In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurden weitere 27 Elemente als solche erkannt oder in Mineralien entdeckt. Von den 92 natürlichen Elementen auf unserer Erde – mit Uran als Nr. 92 – waren 1844 erst 57 bekannt.

Hundert Jahre nach Robert Boyle, der zwischen den Elementen, die aus gleichen Teilchen aufgebaut sind, und den Verbindungen, die aus verschiedenen Elementen bestehen, unterschieden hatte, entwickelte John *Dalton* (1766–1844) »die Form der Atomtheorie, die drei Forschergenerationen als Grundlage diente«. Darüber schrieb der Chemiehistoriker Günther *Kerstein* (1904–1974; Rathsapotheker in Hameln) in seinem 1962 erschienenen Buch *Entschleierung der Materie – vom Werden unserer chemischen Erkenntnis* wie folgt:

»Dalton, der Sohn eines armen englischen Webers, war schon als Kind an den Naturwissenschaften interessiert. Bereits mit 15 Jahren bekam er von seinem Vetter eine Stellung als Lehrer in dessen Klosterschule. (...) Seine Atomtheorie fußt deutlich auf Newtons (1643–1727) Gravitationsprinzip. Er ist also durch physikalische Überlegungen dazu gekommen. (...) Dalton zog aus Newtons umwälzender Lehre die richtige Konsequenz, indem er die Materie als Anhäufung einer ungeheuren Zahl von äußerst kleinen Atomen ansah, die durch mehr oder weniger starke Anziehungskraft miteinander verbunden sind. Folgerichtig tat er den Schritt: Er postulierte die völlige Gleichheit aller Atome eines Grundstoffes und ihre Unzerstörbarkeit. Erst die Beobachtung der Radioaktivität und ihrer Gesetzmäßigkeiten widerlegte diese Anschauung, die zusammen mit Lavoisiers Satz der Unzerstörbarkeit der Ele-

mente Grundlage der chemischen Forschung dieser Zeit war. Als wesentliches Charakteristikum der verschiedenen Atomarten führte Dalton ihr relatives Gewicht an. Jedem Element entspricht eine einzige, durch ihr Gewicht bestimmte Atomart. Die Verbindungen bestehen aus kleinsten Teilchen, die sich aus einer definierten Anzahl von Elementatomen zusammensetzen und infolgedessen auch ein festes Gewicht besitzen. (...)«

Der schwedische Chemiker Jöns Jacob Baron *Berzelius* (1779–1848), der ebenfalls zu den Pionieren der wissenschaftlichen Chemie zählt, entwickelte zwischen 1807 und 1812 basierend auf Daltons Hypothesen seine erste Atomgewichtstabelle (veröffentlicht 1814), in der er das Atomgewicht des Sauerstoffs gleich 100 setzte. Berzelius sah dieses vierzig Jahre zuvor entdeckte Element als den »Angelpunkt der Chemie«. Später bezog er die von ihm ermittelten relativen Atomgewichte auf das leichteste Element, den Wasserstoff mit der Zahl 1.

Mit der Bestimmung der relativen Atommassen war die wichtigste Grundlage für die Entwicklung des periodischen Systems der chemischen Elemente geschaffen worden. Für zwei Gelehrte, den englischen Arzt William *Prout* (1785–1850) und den deutschen Physiker Johann *Meinecke* (1781–1823), war die Feststellung, dass die Atomgewichte vieler Elemente offensichtlich fast ganzzahlige Vielfache des Gewichts von Wasserstoff waren, Anlass, den Wasserstoff als Urstoff anzusehen. Man lese dazu das Buch von Hoimar von *Ditfurth* (1921–1989) *Am Anfang war der Wasserstoff* (Hoffmann & Campe, Hamburg 1972) (siehe auch Kapitel 3).

Ein von Johann Wolfgang von *Goethe* geförderter Chemiker, der Professor für Chemie an der Universität Jena Wolfgang *Döbereiner* (1780–1849), entdeckte 1817, dass die relativen Gewichte der Oxide von Calcium (Kalkerde), Strontium (Strontianerde) und Barium (Baryterde) in einem gesetzmäßigen Zusammenhang stehen und stellte fest, dass sich diese Stoffe auch chemisch ähnlich verhalten, so z.B. Basen (Laugen) bilden. Er entwickelte eine Triadenregel, d.h. er fasste die drei genannten Elemente – und später auch Chlor, Brom und Iod – zu einer Gruppe mit ähnlichen Eigenschaften zusammen. Döbereiner fand heraus, dass unter drei chemisch ähnlichen Elementen die relative Atommasse des einen (mittleren) ungefähr dem arithmetischen Mittel der Atommassen der beiden anderen Elemente entsprach – z.B. Calcium 40, Strontium 88, Barium 137 (88 ist ungefähr gleich der Hälfte von 40 + 137 = 177). Weitere Gruppen kamen durch den französischen Chemiker Jean Baptist André *Dumas* (1800–1884), Sauerstoff, Schwefel, Selen, Tellur (1851/52), sowie durch den deutschen Chemiker und Hygieniker Max von *Pettenkofer* (1818–1901), Stickstoff, Phosphor, Arsen, Antimon (1850), hinzu. 1860 stellte der italienische

Chemiker Stanislaus *Cannizzaro* (1826–1910) auf dem Chemiker-Kongress in Karlsruhe eine »tellurische Helix« vor, auf der die damals bekannten Elemente in einer Spirale nach der relativen Atommasse angeordnet waren. Seine Vorschläge, die auf wesentlich genaueren Bestimmungen der Atomgewichte beruhten, fanden jedoch wenig Beachtung. 1862 veröffentlichte Alexandre-Emile *Béguyer de Chancourtois* (1820–1886), Professor für Geologie in Paris, eine Arbeit, in der er die bekannten Elemente ebenfalls in der Reihenfolge ihrer relativen Atommassen in Form einer Schraubenlinie auf einem Zylinder so anordnete, dass Elemente mit ähnlichen Eigenschaften (wie die so genannten Alkalien Lithium, Natrium, Kalium, die Erdalkalien Magnesium, Calcium, Barium oder die Halogene Fluor, Chlor, Brom, Iod) in senkrechten Linien erschienen. Ein weiterer Schritt in Richtung des heute verwendeten Periodensystems gelang dem englischen Chemiker John Alexander Reina *Newlands* (1837–1898). Er stellte fest, dass bei der Anordnung der Elemente nach steigendem Atomgewicht nach jeweils sieben Elementen ein Element folgt, das dem Anfangsglied der Reihe chemisch ähnlich ist. Daraus entwickelte er, begrifflich angelehnt an die Musiktheorie, das *Gesetz der Oktaven* (1865).

Der Chemiehistoriker Otto P. *Krätz* stellte in seiner Arbeit »Zur Frühgeschichte des Periodensystems der Elemente« (in: *RETE Strukturgeschichte der Naturwissenschaften*, 1, Heft 2 (1972) S. 145–166) jedoch fest, dass bereits fünf Jahre vor Döbereiner der Baseler Doktor der Philosophie und Medizin Johann Ludwig *Falckner* (1787–1831), Mitglied der schweizerischen Gesellschaft von Naturforschern, ein System natürlicher Familien in seinen *Beyträgen zur Stöchiometrie und chemischen Statik* (1824) vorschlug. Noch früher beschäftigte sich der Hallenser Professor der Technologie Johann Ludwig Georg *Meinecke* (1781–1823) in einer Veröffentlichung unter dem Titel »Ueber den stöchiometrischen Werth der Körper, als ein Element ihrer chemischen Anziehung« (*Journal für Chemie und Physik*, Bd. 27 (1819) S. 39–47) mit der Formulierung von »Familien der Sippschaften«. Dazu schrieb Krätz: »Wir haben hier fraglos eine Idee vorliegen, die der Döbereinerschen Triadenregel vorausgeht.« Meinecke hatte »drei Paare zunächst ähnlicher Körper« zusammengestellt: »Baryt und Strontian«, »Kalk und Talk« sowie »Kali und Natron«. Krätz bescheinigt Meinecke, dass aus seinen »Worten eine Vorahnung des *Periodensystems der Elemente* zu erblicken« sei und fährt fort: »Tatsächlich hat dann auch bald ein eifrige Leser des *Schweiggerschen Journals für Chemie und Physik* den Versuch gewagt, ein großes *System der natürlichen Elementfamilien* zu entwickeln. 1824 trat der Baseler Arzt Johann Ludwig Falckner mit einem kleinen in Basel gedruckten Büchlein hervor. [Titel siehe oben.] Über das Leben Falckners scheint wenig bekannt zu sein. Aus seinem Büchlein kann man nur entnehmen, dass er selbst in einem eigenen Laboratorium stö-

chiometrische Versuche anstellte, *Schweiggers* und Gilberts Journal las, an einer geschwächten Gesundheit litt und erstaunlich viel über *Zahlentheorie* wusste. Seine Betrachtungen nahmen offensichtlich von den Werken Leibnizens über *Dualzahlen* ihren Ausgang, und dies scheint ihn in die Richtung der *Proutschen Hypothese* gedrängt zu haben.«

Über die fast gleichzeitige Entdeckung des periodischen Systems der chemischen Elemente durch zwei Wissenschaftler, in Deutschland und in Russland, schrieb Günther Kerstein:

»Zu dem noch heute gültigen periodischen System der Elemente kamen in den Jahren 1864–1870 unabhängig voneinander Dimitri *Mendelejew* (1834–1907) und Lothar *Meyer* (1830–1895). Mendelejew war das 14. Kind eines russischen Schuldirektors. Er studierte mit einem staatlichen Stipendium in Petersburg Naturwissenschaften und wurde danach Oberlehrer, dann Dozent für Chemie in Petersburg. Lothar Meyer war Professor der Physik und Chemie in Eberswalde, Karlsruhe und Tübingen.

1864 veröffentlichte Meyer eine Untersuchung der bekannten analogen Elementgruppen, in der er deren konstante Atomgewichtsdifferenzen feststellte. 1868 stellte er eine Tabelle zusammen, die er jedoch nur in Vorlesungen gebrauchte. Im nächsten Jahr trat Mendelejew in der Russischen Chemischen Gesellschaft mit einer Anordnung der Elemente in 19 Spalten an die Öffentlichkeit, 1870 erschien in den »Annalen der Chemie« – durch die Veröffentlichung Mendelejews angeregt – eine verbesserte Zusammenstellung Lothar Meyers, und im selben Jahr stellte Mendelejew das periodische System der Elemente fast in der heute noch gültigen Form auf. Beide Forscher kamen zu den gleichen Vorstellungen, doch hat Mendelejew die Bedeutung seiner Erkenntnisse tiefer erfasst. Er stellt die These auf, dass die Größe des Atomgewichtes den Charakter eines Elementes bestimme, er berichtigte durch die Kenntnis der Analogien einige Atomgewichte, entdeckte neue Analogien und erwartete die Entdeckung neuer Elemente, deren Eigenschaften er voraussah.«

Der Chemiehistoriker Günther Kerstein kommt zu dem Schluss:

»Die Entwicklung des periodischen Systems der Elemente war eine der größten Leistungen der Naturwissenschaften des vorigen Jahrhunderts. Die neuen Erkenntnisse bildeten das Fundament, auf dem die anorganische Chemie weiter aufbauen konnte.«

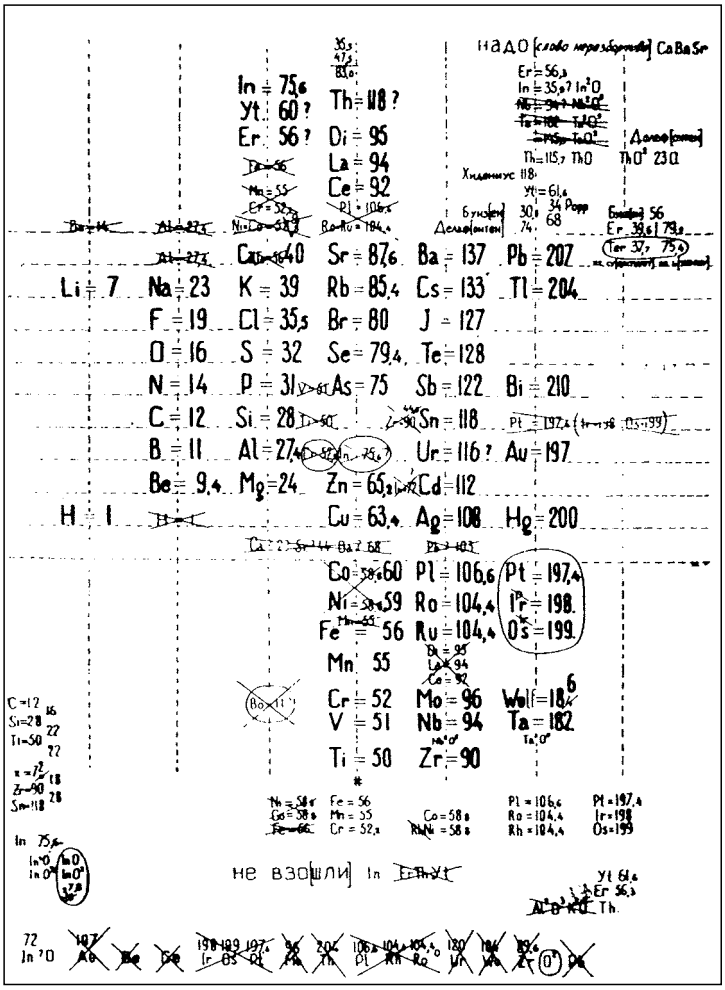

Abb. 1 Erste Darstellung des periodischen Systems – Übertragung einer handschriftlichen Aufzeichnung von Mendelejew durch B. M. Kedrov (1903–1985, Direktor des Instituts für Geschichte der Naturwissenschaft und Technik in Moskau)

Wilhelm Strube hat in seinem Buch *Der historische Weg der Chemie* (Köln 1989) das »Periodensystem der Elemente« wie folgt charakterisiert (er verwendet die Transkription »Mendeleev«):

»*Mendeleev* liebte die Kühnheit des Gedankens. Sein Grundsatz lautete: ›Die meßbaren chemischen und physikalischen Eigenschaften der Elemente und ihrer Verbindungen stehen in periodischer Abhängigkeit von den Atomgewichten der Elemente.‹ Nach dem Vorbild seiner Vorgänger unterschied er ›typische Elemente‹. Aber er erkannte Lücken in dem System und erkühnte sich zu der Behauptung, daß sie von noch zu entdeckenden Elementen ausgefüllt werden würden. (...)

Die Arbeit von *Mendeleev* ermunterte *L. Meyer* noch im gleichen Jahr, 1869, zur Publikation seiner Abhandlung ›Die Natur der chemischen Elemente als Funktion ihrer Atomgewichte‹. *Meyer* bezog sich auf *Mendeleevs* Periodensystem, das er durch einige Umstellung verbesserte. *Mendeleev* selbst nahm 1870 weitere Verbesserungen vor; das neue System erwies sich als ausbaufähig wie jedes richtig gegründete.«

Strube berichtet weiterhin:

»Die Entdeckung des Germaniums im Jahre 1886 durch *Clemens Winkler* [1838–1904; Professor für Chemie an der Bergakademie in Freiberg/Sachsen] überzeugte schließlich die meisten Chemiker von der Richtigkeit des Periodensystems. *Mendeleev* hatte das zur vierten Gruppe zählende unbekannte Element Ekasilicium (ES) genannt ...«

Die von Mendelejew (eine dritte gebräuchliche Transkription des Namens!) vorausgesagten Eigenschaften des Germaniums, – z.B. Atomgewicht 72/gefunden 72,60; spezifisches Gewicht 5,5/5,323 u. a. – stimmten außerordentlich gut mit den gemessenen Größen nach der Gewinnung des Metalls aus einem silberhaltigen Mineral überein. Germanium war das wichtigste Metall der Halbleiterindustrie in deren Anfangszeit, heute ist es weitgehend durch Silicium abgelöst.

Bevor die Geschichte der Entdeckung durch Mendelejew nach einem vor kurzen erschienenen Sachbuch mit dem Titel *Mendelejews Traum. Von den vier Elementen zu den Bausteinen des Universums* (Ullstein, München 2000) von Paul Strathern wiedergegeben wird, sei zur Entwicklung des Periodensystems abschließend Hans Joachim Störig (*Kleine Weltgeschichte der Wissenschaft*, Fischer Verlag, Frankfurt 1982) zitiert:

»Das periodische System schließt wie jede wissenschaftliche Großtat eine lange Entwicklungsreihe ab. In unserem Falle reicht diese Reihe von den ersten philosophischen Fragen nach den Bausteinen der Welt über die Bemühungen der Alchemisten und über Boyles Programm der Elementensuche bis ins 19. Jahrhundert. Mit dem periodischen System, das sich mit jeder weiteren Auffindung und Einordnung eines neues Elementes neu bestätigte und festigte, hatte die Chemie ein Schema, in das alles bisher über die Elemente Bekannte sich folgerichtig einordnen ließ.«

Auf einem Foto aus dem letzten Jahrzehnt des 19. Jahrhunderts ist der Chemiker Mendelejew mit einem mächtigen weißen Bart, der ungekämmt in drei Spitzen endet, an seinem mit Papieren übersäten Schreibtisch abgebildet. Hinter ihm ist ein

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.		
1.	7 Li	9 Be	11 B	12 C	14 N	16 O	19 Fl		—	
2.	23 Na	24 Mg	27 Al	28 Si	31 P	32 S	35,5 Cl		—	
3.	39 K	40 Ca	44 Sc	48 Ti	51 V	52,5 Cr	55 Mn	56 Fe	58,5 Ni	58,5 Co
4.	63 Cu	65 Zn	70 Ga	72,5 Ge	75 As	79 Se	80 Br		—	
5.	85 Rb	87,5 Sr	89 Y	90,5 Zr	93,5 Nb	96 Mo	—	103,5 Ru	104 Rh	106 Pd
6.	107,5 Ag	111,5 Cd	113,5 In	117,5 Sn	119,5 Sb	125 Te	126,5 J		—	
7.	132,5 Cs	137 Ba	138 La	141 Ce	142 Di	—	—		—	
8.	—	—	—	—	—	—	—		—	
9.	—	—	172,5 Yb	—	182 Ta	183,5 W	—	(195)* Os	192,5 Ir	194,5 Pt
10.	196 Au	200 Hg	203,5 Tl	206,5 Pb	207,5 Bi	—	—		—	
11.	—	—	—	232 Th	—	240 U	—		—	

* Das Atomgewicht des Osmiums ist unsicher.

Abb. 2 Darstellung des Periodensystems 1887 – 18 Jahre nach D. Mendelejeff und L. Meyer. (Aus: J. Lorscheid, *Lehrbuch der anorganischen Chemie*, 1887. Kapitel »Stöchiometrie«.)

Regal mit Büchern zu sehen. Das ebenfalls ungekämmte Haupthaar reicht ihm bis auf die Schulter. Mendelejew soll die Gewohnheit gehabt haben, sich nur einmal im Jahr, im Frühjahr, seinen berühmten Haarschopf von einem Schäfer mit der Schaf-

schere schneiden zu lassen. Mendelejew beugt sich auf dem Foto über ein Blatt Papier, in der rechten Hand hält er zwischen den äußersten Enden seiner langen schlanken Finger einen Federkiel. Im Februar 1869 wollte Mendelejew vom Moskauer Bahnhof in St. Petersburg zu einer Reise in die Provinz Twer aufbrechen, wo er vor einer Delegation örtlicher Käseproduzenten einen Vortrag über die Verbesserung von Produktionsverfahren halten sollte. Daran anschließend wollte er für drei Tage die Bauernhöfe der Umgebung besichtigen. Paul Strathern schöpft aus der Schilderung eines Kollegen Mendelejews, der diesen am 17. Februar besuchte und darüber im Rückblick auf die Entdeckung einen fantasievoll ausgeschmückten Bericht verfasste.

Mendelejew hatte sich offensichtlich schon mehrere Tage lang mit dem Problem der Elemente beschäftigt. Im Korridor seines Hauses habe die fertig gepackte hölzerne Reisetruhe gestanden, durch das Fenster seines Studierzimmers habe man den wartenden Pferdeschlitten sehen können, dessen dick vermummter Kutscher im Schnee auf und ab gestampft sei. Der drängende Gedanke an den Zug, den er erreichen musste, hat Mendelejews Geist vermutlich besonders stark angeregt. Auch nach eigener Schilderung ließ Mendelejew sich in einen inspirierenden Tagtraum gleiten. Mit Hilfe eines Kartenspiels, denn auf den langen Fahrten von Sankt Petersburg nach Twer habe man sich häufig die Zeit mit Patiencelegen vertrieben, habe er in diesem Tagtraum immer wieder auf seinem Koffer drei Karten umgedreht. Habe er Asse gefunden, so habe er sie nacheinander herausgenommen und jede Farbe in einer Reihe nach oben auf den Koffer gelegt: Herz, Pik, Karo, Kreuz. Dann habe er weitere Karten umgedreht – und eine nach der anderen sei aufgetaucht: Herzkönig, Herzdame ... Allmählich seien die Reihen auf dem Koffer nach unten angewachsen. Zehn, neun, acht ..., eine Reihe aus absteigenden Zahlen. Genau wie bei den Elementen mit ihren Gruppen und geordneten Atomgewichten!

Nach diesem Tagtraum begann Mendelejew, nachdem er dem Diener befohlen hatte, den wartenden Pferdeschlitten wegzuschicken und für den Nachmittagszug zu bestellen, dieses System auf die ihm bekannten Tatsachen über die zu seiner Zeit bekannten Elemente zu übertragen. Er konnte jedoch trotz aller Anstrengungen noch kein System erkennen. Und dann sei er vor Erschöpfung tatsächlich eingeschlafen und habe einen wirklichen Traum gehabt:

»Ich träumte und sah einen Tisch, auf dem sich alle Elemente wie erforderlich zusammenfügten. Als ich erwachte, schrieb ich es sofort auf einem Blatt Papier nieder.«

Im Traum habe er erkannt: Wenn die Elemente in der Reihenfolge ihres Atomgewichts aufgeschrieben werden, wiederholen sich ihre Eigenschaften in periodischen Abständen. Mendelejew war es gelungen, die Triadenregel von Döbereiner mit dem Oktavengesetz von Newlands und der schraubenförmigen Anordnung von de Chancourtois zu vereinen.

Die Chemiehistoriker schreiben heute die Entdeckung des Periodensystems der chemischen Elementen Mendelejew zu: Er veröffentlichte seinen Aufsatz am 1. Mai 1869, nur zwei Wochen nachdem er die richtige Idee gehabt hatte. Meyer publizierte seinen Aufsatz erst ein Jahr später – und was noch entscheidender ist, er zog nur vorläufige Schlussfolgerungen, er konnte die Unregelmäßigkeiten, die noch bestehenden Lücken, nicht schlüssig erklären. Mendelejew dagegen traf die schon angeführten Voraussagen über noch nicht entdeckte Elemente, die sich sämtlich bewahrheiten sollten.

Periodisches System der Elemente (volle Gestalt).

Reihe	Gruppe 0	Gruppe I	Gruppe II	Gruppe III	Gruppe IV	Gruppe V	Gruppe VI	Gruppe VII	Gruppe VIII			
	—	—	—	—	RH_4	RH_3	RH_2	RH	—			
	R	R_2O	RO	R_2O_3	RO_2	R_2O_5	RO_3	R_2O_7	RO_4			
1		1 H										
2	He 4	Li 7	Be 9	B 11	C 12	N 14	O 16	F 19				
3	20 Ne	23 Na	24 Mg	27 Al	28 Si	31 P	32 S	35.5 Cl				
4	A 40	K 39	Ca 40	Sc 44	Ti 48	V 51	Cr 52	Mn 55	Fe 56	Co 59	Ni 59	Cu 63
5		63 Cu	65 Zn	70 Ga	72 Ge	75 As	79 Se	80 Br				
6	Kr 82	Rb 85	Sr 87	Y 89	Zr 90	Nb 94	Mo 96	–100	Ru 102	Rh 103	Pd 106	Ag 108
7		108 Ag	112 Cd	114 In	119 Sn	120 Sb	128 Te	127 J				
8	Xe 128	Cs 133	Ba 137	La 139	Ce 140 Pr 141 Nd 144 –145							
					–147 Sm 148 Eu 151 –152							
					–156 Gd 156 –159 –160							
					Tb 163 Ho 165 Er 166 –167							
					Tm 171 Yb 173 –176							
					–178	Ta 182	W 184	–190	Os 191	Ir 193	Pt 195	Au 197
9		197 Au	200 Hg	204 Tl	207 Pb	209 Bi	212–	214–				
10	–218	–220	Rd 225?	–230	Th 233	–235	U 239					

Abb. 3 Stand des Periodischen Systems der Elemente 1902
Lücken z. B. zwischen Br und J: »-100«, 43 Technetium [100], 1940 durch Segré und Wu in Spaltprodukten des Urans entdeckt; nach W: »-190«, 75 Rhenium [186, 207], 1925 von Noddack und Tacke nach planmäßiger Suche in Platinerzen entdeckt.
(Aus: William Forster, *Welt und Wunder der Chemie*, München 1931)

PERIODISCHES SYSTEM DER ELEMENTE.

Periode	Gruppe I a	Gruppe I b	Gruppe II a	Gruppe II b	Gruppe III a	Gruppe III b	Gruppe IV a	Gruppe IV b	Gruppe V a	Gruppe V b	Gruppe VI a	Gruppe VI b	Gruppe VII a	Gruppe VII b	Gruppe VIII a	Gruppe VIII b
I													1 H 1,008			2 He 4,00
II	3 Li 6,94		4 Be 9,02		5 B 10,82		6 C 12,00		7 N 14,01		8 O 16,00		9 F 19,00			10 Ne 20,2
III	11 Na 23,00		12 Mg 24,32		13 Al 26,97		14 Si 28,06		15 P 31,04		16 S 32,06		17 Cl 35,46			18 Ar 39,94
IV	19 K 39,10		20 Ca 40,07		21 Se 45,10		22 Ti 47,90		23 V 51,0		24 Cr 52,0		25 Mn 54,93		26 Fe 55,84	24 Co 58,94 28 Ni 58,69
		29 Cu 63,57		30 Zn 65,38		31 Ga 69,72		32 Ge 72,60		33 As 74,96		34 Se 79,2		35 Br 79,92		36 Kr 82,9
V	37 Rb 85,45		38 Sr 87,6		39 Y 88,9		40 Zr 91,2		41 Nb 93,5		42 Mo 96,0		43 Ma —		44 Ru 101,7	45 Rh 102,9 46 Pd 106,7
		47 Ag 107,88		48 Cd 112,4		49 In 114,8		50 Sn 118,7		51 Sb 121,8		52 Te 127,5		53 J 126,92		54 Xe 130,2
VI	55 Cs 132,8		56 Ba 137,4		57—71 Selt. Erden		72 Hf 178,6		73 Ta 181,5		74 W 184,0		75 Re 189		76 Os 190,9	77 Ir 193,1 78 Pt 195,2
		79 Au 197,2		80 Hg 200,6		81 Tl 204,4		82 Pb 207,2		83 Bi 209,0		84 Po 210		85— —		86 Em 222
VII	87— —		88 Ra 226,0		89 Ac —		90 Th 232,1		91 P —		92 U 238,2					

Abb. 4 Periodisches System aus dem Jahre 1931 (ohne Seltene Erden) »Leere Stellen« z. B. 85: Astat, 1940 von Corson, Mackenzie und Segré beim Beschießen von Bismut mit α-Teilchen entdeckt.
(Aus: William Forster, *Welt und Wunder der Chemie*, München 1931)

Periode	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	0	Periode
K	1. Wasserstoff H = 1,008								2. Helium He = 4,00	K
L	3. Lithium Li = 6,94	4. Beryllium Be = 9,02	5. Bor B = 10,82	6. Kohlenstoff C = 12,00	7. Stickstoff N = 14,01	8. Sauerstoff O = 16,00	9. Fluor F = 19,00		10. Neon Ne = 20,18	L
M	11. Natrium Na = 23,00	12. Magnesium Mg = 24,32	13. Aluminium Al = 26,97	14. Silicium Si = 28,06	15. Phosphor P = 31,02	16. Schwefel S = 32,06	17. Chlor Cl = 35,46		18. Argon Ar = 39,94	M
N	19. Kalium K = 39,10 29. Kupfer Cu = 63,57	20. Calcium Ca = 40,08 30. Zink Zn = 65,38	21. Scandium Sc = 45,10 31. Gallium Ga = 69,72	22. Titan Ti = 47,90 32. Germanium Ge = 72,60	23. Vanadium V = 50,95 33. Arsen As = 74,93	24. Chrom Cr = 52,01 34. Selen Se = 79,2	25. Mangan Mn = 54,93 35. Brom Br = 79,92	26. Eisen . . . . Fe = 55,84 27. Kobalt . . . Co = 58,94 28. Nickel . . . Ni = 58,69	36. Krypton Kr = 83,7	N
O	37. Rubidium Rb = 85,47 47. Silber Ag = 107,88	38. Strontium Sr = 87,63 48. Cadmium Cd = 112,41	39. Yttrium Y = 88,92 49. Indium In = 114,8	40. Zirkon Zr = 91,22 50. Zinn Sn = 118,70	41. Niobium Nb = 92,91 51. Antimon Sb = 121,76	42. Molybdän Mo = 96,0 52. Tellur Te = 127,5	43. Masurium Ma 53. Jod J = 126,93	44. Ruthenium Ru = 101,7 45. Rhodium . Rh = 102,91 46. Palladium . Pd = 106,7	54. Xenon X = 131,3	O
P	55. Cäsium Cs = 132,81 79. Gold Au = 197,2	56. Barium Ba = 137,36 80. Quecksilber Hg = 200,61	57. Lanthan La = 138,9 81. Thallium Tl = 204,39	58.—71. Seltene Erden 72. Hafnium Hf = 178,6 82. Blei Pb = 207,22	73. Tantal Ta = 180,89 83. Wismut Bi = 209,00	74. Wolfram W = 184,0 84. Polonium Po = 210,0	75. Rhenium Re = 186,31 85. ?	76. Osmium . . Os = 190,8 77. Iridium . . Ir = 193,1 78. Platin . . . Pt = 195,23	86. Radon Rn = 222	P
Q	87. ?	88. Radium Ra = 225,97	89. Actinium Ac = 227	90. Thorium Th = 232,12	91. Protactinium Pa = 231	92. Uran U = 238,14				Q

58. Cer Ce = 140,13	59. Praseodym Pr = 140,92	60. Neodym Nd = 144,27	61. Illinium Il	62. Samarium Sm = 150,43	63. Europium Eu = 152,0	64. Gadolinium Gd = 157,3
65. Terbium Tb = 158,91	66. Dysprosium Dy = 162,46	67. Holmium Ho = 163,5	68. Erbium Er = 167,64	69. Thullium Tu = 169,4	70. Ytterbium Yb = 173,5	71. Cassiopeium Cp = 175,0

Das periodische System der Elemente

Abb. 5 Das Periodische System der Elemente 1940 »leere Stelle« z.B. 87: Francium, 1939 von Percy als Produkt der natürlichen radioaktiven Actinium-Zerfallsreihe entdeckt. (Aus: Hans-Joachim Flechtner, *Atomzertrümmerung. Zauberei? Alchimie? Wissenschaft?*, W. Limpert-Verlag, Berlin 1940, 6.–10. Tausend)

Literatur

Siegfried Engels und Alois Nowak: *Auf der Spur der Elemente*, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 3. Aufl. 1971.

Wilhelm Strube: *Der historische Weg der Chemie*, Aulis Verlag Deubner, Köln 1989.

Günther Kerstein: *Entschleierung der Materie. Vom Werden unserer chemischen Erkenntnis*, Franckh-Kosmos, Stuttgart 1962.

William H. Brock: *Viewegs Geschichte der Chemie*, Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden 1997.

Otto Krätz: *Faszination Chemie. 7000 Jahre Lehre von Stoffen und Prozessen*, Callwey, München 1990.

Paul Strathern: *Mendelejews Traum. Von den vier Elementen zu den Bausteinen des Universums*, Ullstein, München 2000.