

Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft

71. Jahrg. Nr. 1. — Abteilung A (Vereinsnachrichten), S. 1–33 — 5. Januar.

Otto Hahn: Die chemischen Elemente und natürlichen Atomarten nach dem Stande der Isotopen- und Kernforschung (Bericht über die Arbeiten von Ende 1936 bis Ende 1937).

[Aus d. Kaiser-Wilhelm-Institut für Chemie, Berlin-Dahlem.]

(Eingegangen am 10. Dezember 1937.)

Die im vorjährigen Bericht gemachte Unterteilung in zwei Hauptgruppen wird auch diesmal vorgenommen. Die eine Gruppe behandelt also die möglichst genaue Massenbestimmung leichter Atomarten aus massenspektroskopischen Ergebnissen und aus Kernprozessen. Sie hat im wesentlichen nur Bedeutung für den Atomphysiker. Die andere Gruppe bringt die neuen Ergebnisse über die Anzahl und Häufigkeit der Isotope unserer Elemente und die sich daraus ergebenden „chemischen“ Atomgewichte, gibt also besonders auch für den experimentellen Chemiker wichtige Daten.

Die Tabelle bringt diesmal insofern eine Erweiterung, als bei den sich aus physikalischen Daten ergebenden „chemischen“ Atomgewichten eine Schätzung der Fehlergrenzen vorgenommen und den berechneten Werten beigefügt wurde. Die Auswertung wurde in dankenswerter Weise von Hrn. Dr. S. Flügge in der Weise vorgenommen, daß die Fehlermöglichkeiten 1) der prozentischen Häufigkeit, 2) der Packungsanteile und 3) des Umrechnungsfaktors von $^{16}\text{O} = 16$ auf $\text{O} = 16$ abgeschätzt, kombiniert und die Gesamtfehlermöglichkeiten daraus berechnet wurden. Der Umrechnungsfaktor vom physikalischen auf das chemische Atomgewicht wurde diesmal in Übereinstimmung mit der „Internationalen Atomkommission“ auf Grund der Untersuchung von W. R. Smythe¹⁾ über das Verhältnis $^{16}\text{O}:^{18}\text{O}$, das er zu 503 ± 10 gefunden hatte, zu 0.999725 angenommen. Die Umrechnung geschieht also durch Multiplikation des physikalischen Wertes mit diesem Faktor oder durch Dividieren mit 1.000275. Der bisher an dieser Stelle verwendete Wert von Mecke-Childs war 0.99978 bzw. 1.00022.

1) Physic. Rev. 45, 299 [1934].

Durch die Angabe der Fehlergrenzen kann man jetzt besser als bisher erkennen, in welchen Fällen noch Unstimmigkeiten zwischen physikalisch bestimmten und chemisch bestimmten Atomgewichten bestehen.

1) Massen leichter Atomarten aus massenspektroskopischen und kernphysikalischen Ergebnissen: Wasserstoff bis Argon.

Durch die immer genauer werdenden massenspektroskopischen Ergebnisse mit Spektrographen von hohem Auflösungsvermögen und durch die zu exakten Massenbestimmungen vorzüglich geeigneten kernphysikalischen Reaktionen sind die Massen der leichteren Atomarten heute bereits zu einem hohen Grade von Genauigkeit bekannt. Auch ist im allgemeinen die Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen der Massenspektroskopie und der Kernphysik erfreulich gut. Nur in einem, allerdings sehr wichtigen Fall besteht eine Unstimmigkeit zwischen den Ergebnissen von Aston und denen anderer Forscher, nämlich beim Kohlenstoff. Durch Vergleich der Massenspektroskopie von ^{16}O u. CH_4 , also nahe beieinander liegender Massendubletts, fand F. W. Aston²⁾ für die Masse des ^{12}C den Wert 12.00355 ± 0.00015 ; K. T. Bainbridge und E. B. Jordan³⁾ aber fanden aus dem gleichen Dublett die Masse des ^{12}C zu 12.00398 ± 0.00009 .

Da die Masse des ^{12}C für die Berechnung vieler anderer Atomgewichte verwendet wird, ergibt sich hier die Schwierigkeit, welchen Wert man für den Kohlenstoff 12 wählen soll. Es muß erwähnt werden, daß der Wert von Bainbridge und Jordan mit den Ergebnissen der Kernphysik besser stimmt als der Astonsche Wert. Auch neuere Untersuchungen von J. Mat- tauch und R. Herzog⁴⁾ stimmen besser mit dem Bainbridgeschen.

Genauer als dies dem Referenten möglich ist, haben M. S. Livingston und H. A. Bethe⁵⁾ diese Fragen diskutiert und eine Tabelle der Massen leichter Atome aufgestellt, die wohl dem derzeitigen Stand unserer Kenntnisse am besten entspricht. Diese Werte von Livingston und Bethe für die leichten Atome sind deshalb in die Tabelle aufgenommen. Aus den Massen und den angegebenen Fehlergrenzen wurden die Packungsanteile und deren Fehlergrenzen ausgerechnet. Die sich daraus ergebenden Atomgewichte sind den neuesten Werten der internationalen Tabelle gegenüber gestellt.

2) Isotopenzusammensetzung der einzelnen Elemente und chemische Atomgewichte.

Wasserstoff (1) und Helium (2). — Beim Wasserstoff und beim Helium sind die Bestimmungen aus massenspektroskopischen Daten so genau, daß die internationale Atomgewichtskommission die auf chemisch-physikalischem Wege ermittelten Werte 1.0078 und 4.002 durch die zuverlässigeren physikalischen Werte 1.0081 und 4.003 ersetzt hat⁶⁾.

²⁾ Nature **138**, 1094 [1936].

³⁾ Physic. Rev. **51**, 384 [1937]; E. B. Jordan u. K. T. Bainbridge, Physic. Rev. **51**, 385 [1937].

⁴⁾ Naturwiss. **25**, 747 [1937].

⁵⁾ Rev. mod. Physics **9**, 245 [1937].

⁶⁾ Freundliche Privatmitteilung von Prof. Hönigschmid.

Beryllium (4). — Die Existenz eines stabilen Berylliums 8 scheint wieder sehr unsicher geworden zu sein. A. O. Nier⁷⁾ schließt aus kürzlich durchgeführten Versuchen, daß Be 8, falls überhaupt vorhanden, zu weniger als 1:100000 im gewöhnlichen Beryllium enthalten ist. Seine mögliche Existenz ist bisher also nur auf kernphysikalischem Wege nachgewiesen worden, wobei in jüngster Zeit sehr wahrscheinlich gemacht wurde, daß es sehr bald nach seiner Entstehung wieder zerfällt⁸⁾.

Kohlenstoff (6). — Auf Grund neuer chemischer Bestimmungen des Kohlenstoffs (Baxter und Hale; Scott und Hurley) wurde an Stelle des bisherigen Wertes von 12.01 der Wert 12.010 in die internationale Tabelle eingesetzt⁶⁾.

Von A. R. Brosi und W. D. Harkins⁹⁾ liegt eine Neubestimmung für die prozentische Beteiligung der beiden Kohlenstoff-Isotope vor. Die Verff. finden eine etwas größere Beteiligung von ¹³C als den älteren Astonischen Wert, nämlich 1:92 an Stelle von 1:140. Da die Brosi-Harkinsschen Ergebnisse auch befriedigend mit den Ergebnissen anderer Forscher übereinstimmen ist diesmal der Wert 1:100 für ¹³C:¹²C in die Tabelle eingesetzt.

Sauerstoff (8). — Schon weiter oben wurde darauf hingewiesen, daß an Stelle des bisher verwendeten Mecke-Childsschen Wertes für die Beteiligung von ¹⁸O zu ¹⁶O (nämlich 1:630 + 60) der wohl genauere Wert von Smythe 1:503 ± 10 eingesetzt wurde. Die sich daraus ergebende Notwendigkeit der Umrechnung einer Anzahl von Atomgewichten auf die chemische Skala wurde ebenso wie die Berechnung der Fehlergrenzen von Hrn. Dr. Flügge vorgenommen.

Phosphor (15). — Eine Neubestimmung des „chemischen“ Atomgewichts des Phosphors, die Hönigschmid¹⁰⁾ in Gemeinschaft mit W. Menn durchgeführt hat, beseitigt die bisher bestehende Umstimmigkeit zwischen dem Astonischen Wert und dem der internationalen Tabelle. Hönigschmid findet für dieses Reinelement 30.778 in bester Übereinstimmung mit Aston's Wert.

Argon (18). — Für ³⁶A existiert eine vorläufige Neubestimmung durch Aston¹¹⁾, die den Wert 25.978 ± 0.001 ergeben hat. Eine Neubestimmung der Masse von ⁴⁰A führten Jordan und Bainbridge¹²⁾ aus. Mittelt man nach dem Vorgang von Livingston und Bethe⁵⁾ über die auf zwei verschiedenen Wegen nach der massenspektroskopischen Dublettmethode gewonnenen Masse von ⁴⁰A (einmal durch Anschluß an ²⁰Ne und einmal an schweres Wasser D₂¹⁶O), so ergibt sich als bester Wert der in die Tabelle aufgenommene.

Die Masse von ³⁸A folgt aus Zertrümmerung von ³⁵Cl mit α-Teilchen nach E. Pollard und C. J. Brasfield¹³⁾ durch Anschluß an den ³⁵Cl-Wert unserer Tabelle.

⁷⁾ Physic. Rev. **52**, 936 [1937].

⁸⁾ F. Kirchner, O. Laaff u. H. Neuert, Naturwiss. **25**, 794 [1937].

⁹⁾ Physic. Rev. **52**, 472 [1937].

¹⁰⁾ Naturwiss. **25**, 670 [1937].

¹¹⁾ Nature **139**, 922 [1937].

¹²⁾ Physic. Rev. **51**, 385 [1937].

¹³⁾ Physic. Rev. **51**, 8 [1937].

Kalium (19). — Das in den letzten Jahren von verschiedenen Seiten nachgewiesene seltene Isotop der Masse 40 wurde nunmehr durch direkte Aktivitätsmessung des massenspektroskopisch abgeschiedenen Isotops als der Träger der Kaliumaktivität festgestellt¹⁴⁾. Eine Neubestimmung der relativen Beteiligung der drei Kalium-Isotope im Mischelement durch Nier¹⁵⁾ bestätigt die völlige Übereinstimmung zwischen berechnetem und chemisch gefundenem Wert für das chemische Atomgewicht.

Zink (30). — Beim Zink wurde von Nier¹⁶⁾ noch einmal die prozentische Beteiligung der einzelnen Isotope genau bestimmt und mit den neueren Astonschen Messungen in fast völliger Übereinstimmung gefunden. Als chemisches Atomgewicht berechnet Nier den Wert 65.31; Aston hatte 65.33 gefunden. Der Wert der Tabelle mit 65.38 erscheint dagegen etwas zu hoch.

Arsen (33). — Der frühere Astonsche Befund, daß Arsen eine reine Atomart ist, wurde von Nier⁷⁾ bestätigt. Falls andere Isotope vorhanden wären, so könnten sie nur in außerordentlich kleinen Beträgen vorkommen (Einzelheiten s. bei Nier).

Brom (35). — Beim Brom ist für das Isotopenverhältnis der Massen 79:81 an Stelle der in der vorjährigen Tabelle noch angegebenen Werte 50:50 das etwas genauere Verhältnis 50.6 und 49.4 wohl vorzuziehen¹⁷⁾. Für das chemische Atomgewicht berechnet sich daraus der Wert 79.90 gegenüber dem Wert der Tabelle 79.916. Ein drittes Brom-Isotop, das man wegen dreier durch Neutronenanlagerung entstehender radioaktiver Brom-Isotope hätte erwarten sollen, wurde nicht gefunden.

Krypton (36). — Nach der Dublettmethode hat Aston¹⁸⁾ die Packungsanteile von vier Kr-Isotopen wesentlich genauer als früher bestimmen können. Zur Festlegung der absoluten Massenwerte legt er die Massen $^1\text{H} = 1.00812$ und $^{12}\text{C} = 12.00355$ zugrunde. Benutzt man statt dessen den in diesem Bericht gewählten etwas höheren Wert $^{12}\text{C} = 12.00398$, so führt die Umrechnung der Astonschen Zahlen zu den folgenden Ergebnissen:

Atomart	Packungsanteil	Einzelatomgewicht ($^{16}\text{O} = 16$).
^{78}Kr	-6.98 ± 0.26	77.9456
^{82}Kr	-7.38 ± 0.18	81.9395
^{84}Kr	-7.30 ± 0.18	83.9387
^{86}Kr	-7.09 ± 0.18	85.9390.

Eine Neubestimmung der prozentischen Beteiligung der Krypton-Isotope wurde von Nier⁷⁾ durchgeführt. Ein Vergleich mit den älteren Astonschen Werten gibt nur ganz unwesentliche Unterschiede. Neue Isotope wurden nicht aufgefunden. Aus den Nierschen Werten folgt — unter Einsetzung der oben angegebenen Packungsanteile — für das chemische Atomgewicht der Wert 83.818 ± 0.002 . Der Wert der Tabelle ist 83.7.

¹⁴⁾ W. R. Smythe u. A. Hemmendinger, *Physic. Rev.* **51**, 178 [1937].

¹⁵⁾ *Physic. Rev.* **50**, 1042 [1936].

¹⁶⁾ *Physic. Rev.* **50**, 1043 [1936].

¹⁷⁾ J. P. Blewett, *Physic. Rev.* **49**, 900 [1936].

¹⁸⁾ *Nature* **140**, 149 [1937].

Rubidium (37). — Von verschiedenen Seiten und nach verschiedenen Methoden wurde bewiesen, daß der Träger der Rubidiumaktivität das Isotop 87 ist¹⁹⁾. Andere Isotope als 85 und 87 sind augenscheinlich nicht vorhanden¹⁶⁾.

Cadmium (48). — Nier¹⁶⁾ machte eine genaue Neubestimmung der prozentischen Beteiligung der zahlreichen Cadmium-Isotope und kam zu etwas anderen Werten als den früheren Aston'schen. Die Nierschen Werte sind folgende:

Atomart (Massenzahl) ..	106	108	110	111	112	113	114
Prozent. Beteiligung....	1.4	1.0	12.8	13.0	24.2	12.3	28.0
Atomart (Massenzahl) ..	115	116	118				
Prozent. Beteiligung....	0	7.3	.0				

Aus seinen Werten berechnet Nier das chemische Atomgewicht des Cd zu 112.37 in befriedigender Übereinstimmung mit dem Wert der Tabelle von 112.41.

Jod (53). — Jod wurde als reine Atomart 127 bestätigt. Falls andere Isotope darin vorkommen, dann kann es sich nur um verschwindend kleine Mengen handeln²⁰⁾.

Xenon (54). — Wie bei Krypton hat Aston¹⁸⁾ auch für das Xe nach der Dublettmethode die Packungsanteile der beiden häufigsten Isotope neu bestimmt. Er findet jetzt etwas kleinere Werte als früher. Reduziert man seine Zahlen auf $^{12}\text{C} = 12.00398$, analog wie bei Kr, so findet man:

Atomart	Packungsanteil	Einzelatomgewicht ($^{16}\text{O} = 16$)
^{129}Xe	-4.17 ± 0.16	128.9463
^{132}Xe	-4.1	131.945

Wählt man für die Packungsanteile der übrigen Xe-Isotope rund -4 , dann lassen sich die Einzelatomgewichte auch der anderen Xe-Isotope berechnen. Was die prozentische Beteiligung der Xe-Isotope anbelangt, so findet Nier²¹⁾ etwas andere Werte als die früheren Aston'schen, nämlich:

Einzelatomgewicht (Massenzahl)	124	126	128	129	130
Prozent. Beteiligung.....	0.094	0.088	1.91	26.23	4.06
Einzelatomgewicht (Massenzahl).....	131	132	134	136	
Prozent. Beteiligung.....	21.18	26.98	10.55	8.95	

¹⁹⁾ O. Hahn, F. Strassmann u. E. Walling, *Naturwiss.* **25**, 189 [1937]; A. Mat-tauch, *Naturwiss.* **25**, 189 [1937]; W. R. Smythe u. A. Hemmendinger, *Physic. Rev.* **51**, 1052 [1937].

²⁰⁾ A. O. Nier, *Physic. Rev.* **52**, 937 [1937].

²¹⁾ *Physic. Rev.* **52**, 935 [1937].

Unter Einsetzung der oben angeführten neuen Packungsanteile für die Xe-Isotope und die Nierschen Werte für die Beteiligung berechnet sich das chemische Atomgewicht des Mischelements Xenon zu 131.31 ± 0.01 . Der internationale Wert ist 131.3.

Caesium (55). — Für Caesium gilt dasselbe wie für Arsen und Jod. Es ist ein Reinelement mit der Massenzahl 133; irgend welche isotope Begleiter konnten nicht gefunden werden²⁰⁾.

Neodym (60). — Beim Neodym bestand bis vor kurzem eine große Unstimmigkeit zwischen dem aus massenspektroskopischen Daten berechneten und dem auf chemischem Wege gefundenen Atomgewicht. Das berechnete Atomgewicht war viel zu niedrig. Von A. J. Dempster²²⁾ wurden nun zwei neue Isotope des Neodyms mit den höheren Atomgewichten 148 und 150 festgestellt. Ihre Existenz wurde von J. Mattauich und V. Hauck²³⁾ bestätigt, und darüber hinaus wurde von diesen Forschern eine genaue Bestimmung der prozentischen Häufigkeit aller sieben Neodym-Isotope durchgeführt. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle wiedergegeben.

Atomart (Massenzahl) ..	142	143	144	145	146	148	150
Prozent. Beteiligung....	25.95	13.0	22.6	9.2	16.5	6.8	5.95

Bei einem Packungsanteil von — 5 berechnet sich hieraus für das chemische Atomgewicht der Wert 144.29. Eine Neubestimmung des chemischen Atomgewichts durch Hönigschmid²⁴⁾ in Gemeinschaft mit Fr. Wittner bestätigte den bisherigen Wert der internationalen Tabelle, nämlich 144.27. Die Übereinstimmung zwischen dem massenspektroskopischen und dem chemischen Wert ist nunmehr also sehr gut.

Cassiopeium (71). — Bei dem bisher für ein Reinelement gehaltenen Cassiopeium mit der Massenzahl 175 konnte H. Gollnow²⁵⁾ aus Hyperfeinstruktur-Untersuchungen die Anwesenheit eines zweiten Isotops zu ungefähr 1.5% nachweisen. Doch ließ es sich vorerst noch nicht entscheiden, ob das neue Isotop die Masse 173 oder 177 hat. Eine Neubestimmung des chemischen Atomgewichts, die Hönigschmid²⁶⁾ in Gemeinschaft mit Fr. Wittner durchgeführt hat, ergab für das Atomgewicht den Wert 174.98 in sehr guter Übereinstimmung mit dem internationalen Wert 175.0. Die bisher bestehende Unstimmigkeit zwischen dem berechneten Wert 174.91 und dem auf chemischem Wege gefundenen würde nun behoben, wenn das von Gollnow gefundene neue Isotop die höhere Masse 177 hat. Bei einer Beteiligung von 2.5%, was Gollnow noch gerade für zulässig hält²⁶⁾, berechnet sich das Atomgewicht des Cassiopeiums unter Verwendung des Smytheschen Umrechnungsfaktors zu 174.95 in sehr guter Übereinstimmung mit dem neuen chemischen Wert von Hönigschmid.

²²⁾ Physic. Rev. **51**, 289 [1937].

²³⁾ Naturwiss. **25**, 781 [1937].

²⁴⁾ Naturwiss. **25**, 701 [1937].

²⁵⁾ Ztschr. Physik. **103**, 443 [1937].

²⁶⁾ Naturwiss. **25**, 749 [1937].

Wolfram (74). — Zu den bisher bekannten vier Wolfram-Isotopen von ziemlich gleicher Beteiligung kommt nun noch ein leichter isotoper Begleiter mit der Masse 180²⁷⁾. Die ungefähre Intensität des neuen Isotops scheint nach Dempster etwa 1% von der des Wolfram 183 zu betragen. Der Gesamtgehalt im Mischelement ist also wohl mit knapp 0.2% anzusetzen.

Osmium (76). — Beim Osmium fand Nier²⁸⁾ außer den von Aston bestimmten sechs Isotopen noch ein weiteres, allerdings in äußerst geringer Intensität. Es hat von allen Osmium-Isotopen die niedrigste Masse, nämlich 184. Andere Isotope wurden nicht gefunden. Außerdem hat Nier die prozentische Häufigkeit der Osmium-Isotope, genauer als dies bisher möglich war, bestimmt. Die folgende Tabelle gibt die Ergebnisse.

Atomart (Massenzahl) . . .	184	186	187	188	189	190	192
Prozent. Beteiligung	0.018	1.59	1.64	13.3	16.2	26.4	40.9

Unter Einsetzung eines Packungsanteils von -1 ergibt die Umrechnung auf das chemische Atomgewicht 190.20 gegenüber dem Wert 191.5 der Tabelle. Eine Neubestimmung des chemischen Atomgewichts erscheint daher wie auch beim Iridium dringend erwünscht.

Blei (82). — Eine genaue Kenntnis der Isotopenzusammensetzung des Bleis aus Uranblei, Actiniumblei, Thorblei und Blei 204 ist für Fragen des Alters der Erde (und auch der Sonne²⁹⁾) von großer Bedeutung. Verglichen mit dem sehr sicheren auf chemischem Wege bestimmten Wert von 207.21 hatte bisher die Berechnung aus massenspektroskopischen Daten, nämlich 207.15, keine sehr gute Übereinstimmung gebracht. Nun liegt eine neue Bestimmung der Häufigkeiten der Blei-Isotope vor, die Mattauch und Hauck in ihrem doppelfokussierenden Massenspektrographen genauer, als es bisher möglich war, vorgenommen haben³⁰⁾. Die Ergebnisse sind die folgenden:

Atomart (Massenzahl)	204	206	207	208
Prozent. Beteiligung	1.15	24.55	21.35	52.95

Unter Einsetzung eines Packungsanteils von $+1$ für die Blei-Isotope und die Umrechnung auf die chemische Skala finden die Verff. für das chemische Atomgewicht aus massenspektrographischen Daten den Wert 207.21, der identisch ist mit dem neuesten Wert der internationalen Tabelle.

²⁷⁾ A. J. Dempster, *Physic. Rev.* **52**, 1074 [1937].

²⁸⁾ *Physic. Rev.* **52**, 885 [1937].

²⁹⁾ Stefan Meyer, *Naturwiss.* **25**, 764 [1937].

³⁰⁾ *Naturwiss.* **25**, 763 [1937].

Isotopen- und Atomgewichts-Tabelle der gewöhnlichen chemischen Elemente, soweit Ende 1937 bekannt¹⁾.

Ordnungszahl	Element	Symbol	Massenzahl	Häufigkeit in %	Packungsanteil $\times 10^4$	Einzelatomgewicht $^{16}\text{O} = 16$	Chemisches Atomgewicht für O = 16	
							nach Ergebnissen der Isotopenforschung	Wert der internationalen Tabelle
0	Neutron	n	1	---	+90 \pm 0.6	1.0090	---	---
1	Wasserstoff	H	1	99.98	+81.3 \pm 0.2	1.0081	} 1.00805	1.0081
	„ (Deuterium)	(D)	2	0.02	+73.5 \pm 0.1	2.0147		
	„ (Tritium)	(T)	3*	---	+57.0 \pm 0.3	3.0171		
2	Helium	He	3*	---	+57.0 \pm 0.4	3.0171	} 4.0028	4.003
	„	He	4	100	+9.72 \pm 0.18	4.0039		
3	Lithium	Li	6	7.9	+28.2 \pm 0.3	6.0169	} 6.937	6.940
	„	Li	7	92.1	+26.0 \pm 0.3	7.0182		
4	Beryllium	Be	8*	---	+ 9.9 \pm 0.3	8.0079	} 9.0125	9.02
	„	Be	9	100	+16.7 \pm 0.3	9.0150		
	„	Be	10*	---	+16.7 \pm 0.3	10.0167		
5	Bor	B	10	20	+16.3 \pm 0.3	10.0163	} 10.811	10.82
	„	B	11	80	+11.7 \pm 0.2	11.0129		
6	Kohlenstoff	C	12	99	+3.32 \pm 0.08	12.0040	} 12.011	12.010
	„	C	13	1	+5.85 \pm 0.12	13.0076		
7	Stickstoff	N	14	99.62	+5.36 \pm 0.06	14.0075	} 14.0075	14.008
	„	N	15	0.38	+3.27 \pm 0.14	15.0049		
8	Sauerstoff	O	16	99.76	\pm 0	16		
	„	O	17	0.04	+2.65 \pm 0.04	17.0045	} 16.000	16.000
	„	O	18	0.20	+2.06 \pm 0.11	18.0037		
9	Fluor	F	19	100	+2.37 \pm 0.09	19.0045		
10	Neon	Ne	20	90.00	-0.60 \pm 0.06	19.9988	} 20.190	20.183
	„	Ne	21	0.27	-0.14 \pm 0.11	20.9997		
	„	Ne	22	9.73	-0.64 \pm 0.16	21.9986		
11	Natrium	Na	23	100	-1.65 \pm 0.14	22.9961	22.990	22.997
12	Magnesium	Mg	24	77.4	-3.17 \pm 0.25	23.9924	} 24.33	24.32
	„	Mg	25	11.5	-2.48 \pm 0.36	24.9938		
	„	Mg	26	11.1	-3.92 \pm 0.19	25.9898		
13	Aluminium	Al	27	100	-3.74 \pm 0.30	26.9899	26.982	26.97
14	Silicium	Si	28	89.6	-4.78 \pm 0.22	27.9866	} 28.13	28.06
	„	Si	29	6.2	-4.62 \pm 0.21	28.9866		
	„	Si	30	4.2	-5.60 \pm 0.30	29.9832		
15	Phosphor	P	31	100	-5.07 \pm 0.16	30.9843	30.976	30.978 ^{*)}
16	Schwefel	S	32	96	-5.53 \pm 0.10	31.9823	} 32.04	32.06
	„	S	33	1	---	---		
	„	S	34	3	-6.47 \pm 0.60	33.978		

¹⁾ Kursiv gedruckte Zahlen sind unsicher oder vorläufige Werte. Auch solche, bei denen eine Neubestimmung des Packungsanteils nicht vorliegt, wurden kursiv gedruckt. — Der benutzte Umrechnungsfaktor von physikalischen auf chemische Werte ist der von der internationalen Atomkommission auf Grund der Messungen von Smythe (Physic. Rev. 45, 299 [1934]) gewählte Faktor 0.999725.

*) Die mit einem Stern versehenen Isotope sind nur aus Zertrümmerungsversuchen bekannt.

+*) Neuster Hönigschmid'scher Wert.

Fortsetzung der Tabelle.

Ordnungszahl	Element	Sym- bol	Mas- sen- zahl	Häufig- keit in %	Packungs- Anteil $\times 10^4$	Einzel- atom- gewicht $^{16}\text{O} = 16$	Chemisches Atom- gewicht für $\text{O} = 16$	
							nach Ergeb- nissen der Isotopen- Forschung	Wert der inter- nationalen Tabelle
17	Chlor	Cl	35	76	-5.63 ± 0.17	34.9803	} 35.45	35.457
	"	Cl	37	24	-5.97 ± 0.32	36.9779		
18	Argon	A	36	0.31	-6.1 ± 0.3	35.978	} 39.950	39.944
	"	A	38	0.06	-6.84 ± 0.66	37.974		
	"	A	40	99.63	-6.25 ± 0.08	39.9750		
19	Kalium	K	39	93.30	} geschätzt zu -7		} 39.096 ± 0.005	39.096
	"	K	40	0.01				
	"	K	41	6.6				
20	Calcium	Ca	40	96.76	} geschätzt zu -7.2		} 40.072 ± 0.005	40.08
	"	Ca	42	0.77				
	"	Ca	43	0.17				
	"	Ca	44	2.30				
21	Scandium	Sc	45	100	} geschätzt zu -7		} 44.96 ± 0.01	45.10
22	Titan	Ti	46	8.5				
	"	Ti	47	7.8	} geschätzt zu -8		} 47.89 ± 0.015	47.90
	"	Ti	48	71.3				
	"	Ti	49	5.5				
	"	Ti	50	6.9				
23	Vanadium	V	51	100	} interpoliert -9		} 50.94 ± 0.01	50.95
24	Chrom	Cr	50	4.9				
	"	Cr	52	81.6	} -10	51.948	} 52.002 ± 0.015	52.01
	"	Cr	53	10.4				
	"	Cr	54	3.1				
25	Mangan	Mn	55	100	} interpoliert -10		} 54.93 ± 0.01	54.93
26	Eisen	Fe	54	6.5				
	"	Fe	56	90.2	} geschätzt zu -10		} 55.837 ± 0.015	55.84
	"	Fe	57	2.8				
	"	Fe	58	0.5				
27	Kobalt	Co	57	0.17	} interpoliert -10		} 58.92 ± 0.01	58.94
	"	Co	59	99.83				
28	Nickel	Ni	58	66.4	} -10	57.942	} 58.75 ± 0.03	58.69
	"	Ni	60	26.7				
	"	Ni	61	1.6				
	"	Ni	62	3.7				
	"	Ni	64	1.6				
29	Kupfer	Cu	63	68	} interpoliert -10		} 63.56 ± 0.05	63.57
	"	Cu	65	32				
30	Zink	Zn	64	50.4	} -9.9	63.937	} 65.323 ± 0.020	65.38
	"	Zn	66	27.2				
	"	Zn	67	4.2				
	"	Zn	68	17.8				
	"	Zn	70	0.4				
31	Gallium	Ga	69	61.5	} geschätzt zu -9.8		} 69.682 ± 0.015	69.72
	"	Ga	71	38.5				

Fortsetzung der Tabelle.

Ordnungszahl	Element	Sym- bol	Mas- sen- zahl	Häufig- keit in %	Packungs- Anteil $\times 10^4$	Einzel- atom- gewicht $^{16}\text{O} = 16$	Chemisches Atom- gewicht für O = 16	
							nach Ergeb- nissen der Isotopen- Forschung	Wert der Inter- nationalen Tabelle
32	Germanium	Ge	70	21.2	} geschätzt zu ---7.7		} 72.58 ± 0.04	72.60
	"	Ge	72	27.3				
	"	Ge	73	7.9				
	"	Ge	74	37.1				
	"	Ge	76	6.5				
33	Arsen	As	75	100	---8.8	74.934	74.91 ± 0.01	74.91
34	Selen	Se	74	0.9	} ---8.0 ---7.3	} 77.938 79.941	} 78.94 ± 0.02	78.96
	"	Se	76	9.5				
	"	Se	77	8.3				
	"	Se	78	24.0				
	"	Se	80	48.0				
35	Brom	Br	79	50.6	---9.0	78.929	} 79.90 ± 0.02	79.916
	"	Br	81	49.4	---8.6	80.926		
36	Krypton	Kr	78	0.35	---6.98 ± 0.26	77.9456	} 83.818 ± 0.002	83.7
	"	Kr	80	2.01	} ---7.38 ± 0.18 ---7.30 ± 0.18 ---7.09 ± 0.18	} 81.9395 83.9387 85.9390		
	"	Kr	82	11.52				
	"	Kr	83	11.52				
	"	Kr	84	57.13				
37	Rubidium	Rb	85	72.8	} geschätzt zu 8.2		} 85.45 ± 0.014	85.48
	"	Rb	87	27.2				
38	Strontium	Sr	84	0.5	} geschätzt zu ---8.2		} 87.62 ± 0.024	87.63
	"	Sr	86	9.6				
	"	Sr	87	7.5				
	"	Sr	88	82.4				
39	Yttrium	Y	89	100	geschätzt zu ---8.1		88.90 ± 0.013	88.92
40	Zirkonium	Zr	90	48	} geschätzt zu ---7		} 91.24 ± 0.024	91.22
	"	Zr	91	11.5				
	"	Zr	92	22				
	"	Zr	94	17				
	"	Zr	96	1.5				
41	Niob	Nb	93	100	8	92.926	92.90 ± 0.013	92.91
42	Molybdän	Mo	92	14.2			} 95.95 ± 0.03	95.95
	"	Mo	94	10.0				
	"	Mo	95	15.5				
	"	Mo	96	17.8				
	"	Mo	97	9.6				
	"	Mo	98	23.0				
	"	Mo	100	9.8				
	"	Mo	102	---				

Fortsetzung der Tabelle.

Ordnungszahl	Element	Sym- bol	Mas- sen- zahl	Häufig- keit in %	Packungs- Anteil $\times 10^4$	Einzel- atom- gewicht $^{16}\text{O} = 16$	Chemisches Atom- gewicht für $\text{O} = 16$						
							nach Ergeb- nissen der Isotopen- Forschung	Wert der Inter- nationalen Tabelle					
44	Ruthenium	Ru	96	5	} geschätzt zu —6	}	} 101.1 ± 0.4	} 101.7					
	..	Ru	98	...									
	..	Ru	99	12									
	..	Ru	100	14									
	..	Ru	101	22									
	..	Ru	102	30									
45	Rhodium	Rh	101	0.08	} geschätzt zu —5.7	}	} 102.91 ± 0.015	} 102.91					
	..	Rh	103	99.92									
	46	Palladium	Pd	102					0.8	} geschätzt zu —6	}	} 106.54 ± 0.03	} 106.7
		..	Pd	104					9.3				
..		Pd	105	22.6									
..		Pd	106	27.2									
47	..	Pd	108	26.8	} geschätzt 5.3	}	} 107.86 ± 0.02	} 107.880					
	..	Pd	110	13.5									
	Silber	Ag	107	52.5									
	..	Ag	109	47.5									
48	Cadmium	Cd	106	1.4	} geschätzt zu —6.5	}	} 112.37 ± 0.04	} 112.41					
		..	Cd	108					1.0				
	..	Cd	110	12.8									
	..	Cd	111	13.0									
	..	Cd	112	24.2									
	..	Cd	113	12.3									
	..	Cd	114	28.0									
	..	Cd	116	7.3									
49	Indium	In	113	4.5	} geschätzt —7.4	}	} 114.79 ± 0.02	} 114.76					
	..	In	115	95.5									
50	Zinn	Sn	112	1.1	} geschätzt zu —7.3	}	} 118.67 ± 0.05	} 118.70					
		..	Sn	114					0.8				
	..	Sn	115	0.4									
	..	Sn	116	15.5									
	..	Sn	117	9.1									
	..	Sn	118	22.5									
	..	Sn	119	9.8									
	..	Sn	120	28.5									
	..	Sn	122	5.5									
	..	Sn	124	6.8									
51	Antimon	Sb	121	56	} geschätzt zu —6.3	}	} 121.77 ± 0.04	} 121.76					
	..	Sb	123	44									
52	Tellur	Te	120	—	} geschätzt zu —5	}	} 127.57 ± 0.05	} 127.61					
		..	Te	122					2.9				
	..	Te	123	1.6									
	..	Te	124	4.5									
	..	Te	125	6.0									
	..	Te	126	19.0									
	..	Te	128	32.8									
	..	Te	130	33.1									

Fortsetzung der Tabelle.

Ordnungszahl	Element	Symbol	Massenzahl	Häufigkeit in %	Packungsanteil $\times 10^4$	Einzelatomgewicht $^{16}\text{O} = 16$	Chemisches Atomgewicht für $\text{O} = 16$										
							nach Ergebnissen der Isotopenforschung	Wert der Internationalen Tabelle									
53	Jod	J	127	100	—5.3	126.932	126.90 ± 0.02	126.92									
54	Xenon	Xe	124	0.094	-4.17 ± 0.16	128.946	131.31 ± 0.01	131.3									
		Xe	126	0.088													
		Xe	128	1.91													
		Xe	129	26.23													
		Xe	130	4.06													
		Xe	131	21.18													
		Xe	132	26.98													
55	Caesium	Cs	133	100	—5	132.933	132.90 ± 0.02	132.91									
									56	Barium	Ba	130	0.16	-6.1	137.916	137.35 ± 0.02	137.36
											Ba	132	0.015				
											Ba	134	1.72				
											Ba	135	5.7				
Ba	136	8.5															
Ba	137	10.8															
Ba	138	73.1															
57	Lanthan	La	139	100	interpoliert 5		138.89 ± 0.02	138.92									
58	Cer	Ce	136	—	interpoliert zu —5 bei den leichten Erden, bis —3 bei		140.12 ± 0.03	140.13									
									Ce	138	—						
									Ce	140	89						
									Ce	142	11						
59	Praseodym	Pr	141	100			140.89 ± 0.02	140.92									
60	Neodym	Nd	142	25.95			144.29 ± 0.05	144.27									
			143	13.0													
			144	22.6													
			145	9.2													
			146	16.5													
			148	6.8													
			150	5.95													
62	Samarium	Sm	144	3			150.1 ± 0.2	150.43									
			147	17													
			148	14													
			149	15													
			150	5													
			152	26													
			154	20													
63	Europium	Eu	151	50.6			151.89 ± 0.06	152.0									
			153	49.4													

Fortsetzung der Tabelle.

Ordnungszahl	Element	Sym- bol	Mas- sen- zahl	Häufig- keit in %	Packungs- Anteil $\times 10^4$	Einzel- atom- gewicht $^{16}\text{O} = 16$	Chemisches Atom- gewicht für $\text{O} = 16$		
							nach Ergeb- nissen der Isotopen- forschung	Wert der Inter- nationalen Tabelle	
64	Gadolinium	Gd	155	21	den schwereren			156.95 ± 0.15	156.9
		Gd	156	23					
		Gd	157	17					
		Gd	158	23					
		Gd	160	16					
65	Terbium	Tb	159	100				158.89 ± 0.02	159.2
66	Dysprosium	Dy	161	22				162.5 ± 0.1	162.46
		Dy	162	25					
		Dy	163	25					
		Dy	164	28					
67	Holmium	Ho	165	100				164.89 ± 0.02	163.5
68	Erbium	Er	166	36				167.15 ± 0.15	167.2
		Er	167	24					
		Er	170	10					
69	Thulium	Tm	169	100				168.90 ± 0.02	169.4
70	Ytterbium	Yb	171	9			173.2 ± 0.2	173.04	
		Yb	172	24					
		Yb	173	17					
		Yb	174	38					
		Yb	176	12					
71	Cassiopeium	Cp	175	97.5			174.95 ± 0.04	175.0	
		Cp	177	2.5					
72	Hafnium	Hf	176	5	geschätzt zu -3		178.4 ± 0.2	178.6	
		Hf	177	19					
		Hf	178	28					
		Hf	179	18					
		Hf	180	30					
73	Tantal	Ta	181	100	-4	180.928	180.88 ± 0.03	180.88	
74	Wolfram	W	180	0.2	0	184.0	183.92 ± 0.07	183.92	
		W	182	22.6					
		W	183	17.3					
		W	184	30.2					
		W	186	29.9					
75	Rhenium	Re	185	38.2	-1	186.981	186.17 ± 0.03	186.31	
		Re	187	61.8					

Fortsetzung der Tabelle.

Ordnungszahl	Element	Sym- bol	Mas- sen- zahl	Häufig- keit in %	Packungs- Anteil $\times 10^4$	Einzel- atom- gewicht $^{16}\text{O} = 16$	Chemisches Atom- gewicht für O = 16			
							nach Ergeb- nissen der Isotopen- forschung	Wert der Inter- nationalen Tabelle		
76	Osmium	Os	184	0.018			} 190.20 ± 0.04	191.5		
	..	Os	186	1.59						
	..	Os	187	1.64						
	..	Os	188	13.3						
	..	Os	189	16.2						
	..	Os	190	26.4	-1	189.98				
..	Os	192	40.9	-1	191.98					
77	Iridium	Ir	191	38.5	} geschätzt zu 0		} 192.18 ± 0.03	193.1		
	..	Ir	193	61.5						
78	Platin	Pt	192	0.8	} geschätzt zu + 0.5		} 195.11 ± 0.05	195.23		
	..	Pt	194	30.2						
	..	Pt	195	35.3						
	..	Pt	196	26.6						
	..	Pt	198	7.2						
79	Gold	Au	197	100			196.95 ± 0.03	197.2		
80	Quecksilber	Hg	196	0.15	} + 0.8	200.016	} 200.57 ± 0.02	200.61		
	..	Hg	198	10.12						
	..	Hg	199	17.04						
	..	Hg	200	23.26						
	..	Hg	201	13.18						
	..	Hg	202	29.55						
..	Hg	204	6.72							
81	Thallium	Tl	203	29.4	+ 1.8	203.037	} 204.39 ± 0.04	204.39		
	..	Tl	205	70.6	+ 1.8	205.037				
82	Blei	Pb	204	1.15	} geschätzt zu + 1		} 207.21 ± 0.02	207.21		
	..	Pb	206	24.55						
	..	Pb	207	21.35						
	..	Pb	208	52.95						
83	Wismut	Bi	209	100	interpol. + 2		208.98 ± 0.03	209.00		
90	Thorium	Th	232	100	+ 3.0	232.070	232.01 ± 0.03	232.12		
92	Uran	U	235	0.4	+ 3.6	235.084	} 238.01 ± 0.03	238.07		
	..	U	238	99.6	+ 3.7	238.088				