

CHEMISCHE BERICHTE

In Fortsetzung der

BERICHTE DER DEUTSCHEN CHEMISCHEN GESELLSCHAFT

herausgegeben von der

GESELLSCHAFT DEUTSCHER CHEMIKER

101. Jahrg. Nr. 7

S. I–VI

Internationale Atomgewichte 1968

(Eingegangen am 29. Januar 1968)

Seit der Veröffentlichung der Atomgewichtstabelle für 1962 in Bd. 95 dieser Berichte¹⁾ hat die Internationale Atomgewichtskommission auf Grund neuerer, verfeinerter Bestimmungen für die folgenden sechs Elemente Änderungen der damals angeführten Werte empfohlen:

Brom	79.904 ± 0.001	statt	79.909 ± 0.002
Chrom	51.996	statt	51.996 ± 0.001
Kupfer	63.546 ± 0.001	statt	63.54
Magnesium	24.305	statt	24.312
Neon	20.179 ± 0.003	statt	20.183
Silber	107.868 ± 0.001	statt	107.870 ± 0.003

Die Internationale Kommission gibt in ihren Atomgewichtstabellen die Atomgewichte grundsätzlich mit so viel Stellen an, daß auf Grund der bei der Herausgabe der Tabelle vorliegenden experimentellen Daten ihr die letzte Ziffer als innerhalb der Grenzen ± 0.5 gesichert erscheint. Wo sich dieser Grundsatz nicht anwenden läßt, wird die geschätzte experimentelle Fehlergrenze oder der auf natürlichen Schwankungen der Isotopen-Zusammensetzung beruhende Schwankungsbereich des Atomgewichts in einer Fußnote angegeben. Die Fortlassung der Angabe der Fehlergrenze beim Chrom bedeutet also, daß bei diesem die Fehlergrenze jetzt als unterhalb 0.5 Einheiten der letzten Dezimale liegend angesehen wird.

Die i. J. 1962 veröffentlichten Atomgewichte gründen sich, abgesehen davon, daß sie den mit der 1961 beschlossenen Umstellung von der Basis O = 16 auf ¹²C = 12 verbundenen Änderungen der Zahlenwerte Rechnung tragen, auf eine sorgfältige und kritische Überprüfung der bis dahin zur Verfügung stehenden experimentellen Daten, vor allem solcher aus dem Zeitraum von 1925 bis 1961²⁾. Hierbei wurden außer den

¹⁾ H. Remy, Chem. Ber. 95, I (1962).

²⁾ Eine ausführliche Begründung der so ermittelten Werte findet sich, außer in Comptes Rendus de la XXI^e Conférence de IUPAC [1961], S. 292–327, in dem Bericht von A. E. Cameron und E. Wichers, J. Amer. chem. Soc. 84, 4175 (1962).

Atomgewichte

(bezogen auf den genauen Wert 12 für die relative Atom-Masse des Kohlenstoffisotops ^{12}C)

Name	Symbol	Ordnungszahl	Atomgewicht	Name	Symbol	Ordnungszahl	Atomgewicht
Aluminium	Al	13	26.9815	Neodym	Nd	60	144.24
Antimon	Sb	51	121.75	Neon	Ne	10	20.179 ^{b)}
Argon	Ar	18	39.948	Nickel	Ni	28	58.71
Arsen	As	33	74.9216	Niob	Nb	41	92.906
Barium	Ba	56	137.34	Osmium	Os	76	190.2
Beryllium	Be	4	9.0122	Palladium	Pd	46	106.4
Blei	Pb	82	207.19	Phosphor	P	15	30.9738
Bor	B	5	10.811 ^{a)}	Platin	Pt	78	195.09
Brom	Br	35	79.904 ^{b)}	Praseodym	Pr	59	140.907
Cadmium	Cd	48	112.40	Quecksilber	Hg	80	200.59
Calcium	Ca	20	40.08	Rhenium	Re	75	186.2
Cäsium	Cs	55	132.905	Rhodium	Rh	45	102.905
Cer	Ce	58	140.12	Rubidium	Rb	37	85.47
Chlor	Cl	17	35.453 ^{b)}	Ruthenium	Ru	44	101.07
Chrom	Cr	24	51.996	Samarium	Sm	62	150.35
Dysprosium	Dy	66	162.50	Sauerstoff	O	8	15.9994 ^{a)}
Eisen	Fe	26	55.847 ^{b)}	Scandium	Sc	21	44.956
Erbium	Er	68	167.26	Schwefel	S	16	32.064 ^{a)}
Europium	Eu	63	151.96	Selen	Se	34	78.96
Fluor	F	9	18.9984	Silber	Ag	47	107.868 ^{b)}
Gadolinium	Gd	64	157.25	Silicium	Si	14	28.086 ^{a)}
Gallium	Ga	31	69.72	Stickstoff	N	7	14.0067
Germanium	Ge	32	72.59	Strontium	Sr	38	87.62
Gold	Au	79	196.967	Tantal	Ta	73	180.948
Hafnium	Hf	72	178.49	Tellur	Te	52	127.60
Helium	He	2	4.0026	Terbium	Tb	65	158.924
Holmium	Ho	67	164.930	Thallium	Tl	81	204.37
Indium	In	49	114.82	Thorium	Th	90	232.038
Iridium	Ir	77	192.22	Thulium	Tm	69	168.934
Jod	J	53	126.9044	Titan	Ti	22	47.90
Kalium	K	19	39.102	Uran	U	92	238.03
Kobalt	Co	27	58.9332	Vanadin	V	23	50.942
Kohlenstoff	C	6	12.01115 ^{a)}	Wasserstoff	H	1	1.00797 ^{a)}
Krypton	Kr	36	83.80	Wismut	Bi	83	208.980
Kupfer	Cu	29	63.546 ^{b)}	Wolfram	W	74	183.85
Lanthan	La	57	138.91	Xenon	Xe	54	131.30
Lithium	Li	3	6.939	Ytterbium	Yb	70	173.04
Lutetium	Lu	71	174.97	Yttrium	Y	39	88.905
Magnesium	Mg	12	24.305	Zink	Zn	30	65.37
Mangan	Mn	25	54.9380	Zinn	Sn	50	118.69
Molybdän	Mo	42	95.94	Zirconium	Zr	40	91.22
Natrium	Na	11	22.9898				

^{a)} Die mit diesem Zeichen versehenen Atomgewichte haben etwas schwankende Werte infolge der natürlichen Schwankungen ihrer Isotopen-Zusammensetzung. Die beobachteten Schwankungsbereiche sind:

Bor	± 0.003	Sauerstoff	± 0.0001	Schwefel	± 0.003
Kohlenstoff	± 0.00005	Silicium	± 0.001	Wasserstoff	± 0.00001

^{b)} Für die mit diesem Zeichen versehenen Atomgewichte werden die folgenden experimentellen Fehlergrenzen angenommen:

Brom	± 0.001	Eisen	± 0.003	Neon	± 0.003
Chlor	± 0.001	Kupfer	± 0.001	Silber	± 0.001

nach chemischen oder physikalisch-chemischen Methoden erhaltenen Ergebnissen auch solche berücksichtigt, die durch rein physikalische Messungen (Massenspektrometrie, Massendoubletspektrographie) erhalten worden waren³⁾. Die physikalisch bestimmten Atomgewichte unterscheiden sich bei den *Reinelementen* von den chemisch oder physikalisch-chemisch bestimmten im allgemeinen durch eine größere Genauigkeit (Möglichkeit der Angabe von mehr Dezimalstellen). Unter den *Mischelementen* gibt es dagegen zur Zeit noch eine beträchtliche Anzahl, bei denen die massenspektrometrischen Bestimmungen die auf chemischem oder physikalisch-chemischem Wege vorgenommenen an Genauigkeit keineswegs übertreffen und oft nicht einmal erreichen⁴⁾. Dies liegt daran, daß für das Atomgewicht eines Mischelements außer den relativen Massen seiner Isotope auch deren Mengenverhältnis maßgebend ist, das sich bekanntlich wesentlich schwieriger als die relativen Massen exakt bestimmen läßt. Eine mäßige Genauigkeit in der Bestimmung des Mengenverhältnisses der Isotope wirkt sich auf die massenspektrometrisch bestimmten Atomgewichte nur dann nicht wesentlich aus, wenn es sich um solche Mischelemente handelt, bei denen eine Atomart den isotopen Beimengungen gegenüber sehr stark überwiegt. Sonst aber müssen, um exakte Werte zu erhalten, bei der spektrometrischen Bestimmung der Isotopen-Zusammensetzung besondere Verfahren angewendet werden, die recht mühsam und anspruchsvoll sind und daher nur in wenigen Laboratorien durchgeführt werden. Eine wesentliche Rolle spielt dabei die Eichung des Spektrometers mit Isotopengemischen von genau bekannter Zusammensetzung, die hierfür eigens (aus nicht nur chemisch völlig reinen, sondern auch weitgehend masseneinheitlichen Isotopen) hergestellt werden müssen⁵⁾. Wenn diese Bedingungen eingehalten werden, sind die massenspektrometrisch ermittelten Atomgewichte den nach den älteren Methoden bestimmten an Genauigkeit überlegen. Dies war schon 1961 der Fall für Bor, Stickstoff, Chlor, Argon und Uran. Nun liegen weitere Ergebnisse von unter Einhaltung der genannten Bedingungen durchgeführten massenspektrometrischen Bestimmungen vor, und hierauf gründen sich die jetzt vorgenommenen Änderungen. Im einzelnen ist darüber in Kürze⁶⁾ folgendes zu berichten.

Brom: ⁷⁹Br, ⁸¹Br. — Das in der Tabelle von 1962 angeführte Atomgewicht basierte auf dem früher chemisch bestimmten Verhältnis $\text{AgBr}/\text{Ag} = 1.740785$ und dem in der gleichen Tabelle angeführten Atomgewicht des Silbers. *Catanzaro et al.*⁷⁾ fanden massenspektrometrisch die Isotopenzusammensetzung $^{79}\text{Br} = 50.686 \pm 0.047$ und $^{81}\text{Br} = 49.314 \pm 0.047$ Atom-%. Hieraus in Verbindung mit den der Tabelle von *Mattauch, Thiele und Wapstra*⁸⁾

- 3) Eine Einteilung der Elemente in verschiedene Gruppen nach der bei ihren Atomgewichtsbestimmungen erzielten Genauigkeit gibt *E. Wichers*, *Analytic. Chem.* **35**, Nr. 3, S. 23 A (1963), und *An. Real Soc. españ. Física Quim., Ser. B.* **60**, 107 (1964).
- 4) Vor allem gilt dies für Lithium, Titan, Zink, Germanium, Selen, Molybdän, Cadmium, Zinn, Tellur und Blei.
- 5) Näheres siehe *A. E. Cameron*, *Analytic. Chem.* **35**, Nr. 2, 23 A (1963).
- 6) Ausführlicher Bericht in *Comptes Rendus de la XXIV^e Conférence de IUPAC* [1967], S. 130–139.
- 7) *E. J. Catanzaro, T. J. Murphy, E. L. Garner und W. R. Shields*, *J. Res. nat. Bur. Standards* **68A**, 593 (1964).
- 8) *J. H. E. Mattauch, W. Thiele und A. H. Wapstra*, *Nuclear Physics* [Amsterdam] **67**, 1 (1965).

zu entnehmenden Massenwerten⁹⁾ der beiden Isotope ergibt sich für das Atomgewicht des Broms 79.904 ± 0.001 und für das Verhältnis AgBr/Ag (wenn $\text{Ag} = 107.868$ gesetzt wird) 1.740752 . In 29 Proben von Brom verschiedener Herkunft wurde kein merklicher Unterschied der Isotopenzusammensetzung gefunden.

Chrom: ^{50}Cr , ^{52}Cr , ^{53}Cr , ^{54}Cr . — Der in der Tabelle von 1962 angeführte Wert basierte auf chemischen Bestimmungen von *Baxter et al.*¹⁰⁾ und massenspektrometrischen Messungen von *Flesch et al.*¹¹⁾. Neuere, mit einer verfeinerten Methode zur Eichung des Spektrometers ausgeführte Messungen von *Shields et al.*¹²⁾ ergaben in Verbindung mit den von *Mattauch*⁸⁾ angegebenen Massenwerten das Atomgewicht 51.99612 ± 0.00033 . In Chrom aus 18 Chromiten verschiedener geologischer Vorkommen wurde keine Schwankung des Isotopen-Verhältnisses gefunden¹¹⁾.

Kupfer: ^{63}Cu , ^{65}Cu . — Das früher angeführte Atomgewicht basierte auf chemischen Bestimmungen¹³⁾. Aus diesen ergab sich als Mittelwert 63.537 ± 0.001 . Zum Vergleich herangezogene spektrometrische Bestimmungen lieferten etwas höhere Werte: 63.550 ¹⁴⁾ bzw. 63.547 ¹⁵⁾. Mit Rücksicht darauf wurde der damals in die Tabelle eingesetzte Wert auf 63.54 abgerundet. Aus den jetzt vorliegenden¹⁶⁾ mit verfeinerten Methoden durchgeführten spektrometrischen Bestimmungen des Isotopenverhältnisses ($69.174 : 30.826$) ergibt sich in Verbindung mit den von *Mattauch*⁸⁾ angeführten Massenwerten das Atomgewicht 63.5455 ± 0.001 . Die Untersuchung von 106 Kupferproben verschiedener Herkunft¹⁷⁾ ergab, daß das Isotopenverhältnis praktisch konstant ist; nur bei vereinzelt in kleinen Mengen vorkommenden sekundär gebildeten Kupfermineralien wurden Abweichungen bis zu 0.9% vom normalen Wert gefunden.

Magnesium: ^{24}Mg , ^{25}Mg , ^{26}Mg . — Früher standen für das Atomgewicht des Magnesiums nur schon vor längerer Zeit ausgeführte chemische¹⁸⁾ und massenspektrometrische¹⁴⁾ Bestimmungen zur Verfügung. Der jetzt in die Tabelle eingesetzte Wert basiert auf einer vor kurzem vorgenommenen¹⁹⁾ massenspektrometrischen Bestimmung des Isotopenverhältnisses, die unter Verwendung künstlich hergestellter Isotopengemische zur Eichung des Spektrometers erfolgte. Das Atomgewicht ergibt sich daraus in Verbindung mit den von *Mattauch*⁸⁾ angegebenen Massenwerten zu 24.30497 ± 0.00044 . In der Tabelle ist der Wert auf 24.305 abgerundet. In 60 Proben verschiedener Herkunft wurden für das Mengenverhältnis der Isotope keine Unterschiede gefunden²⁰⁾.

⁹⁾ Die relativen Massen der einzelnen Atomarten eines Elementes („Massenwerte“) werden vielfach als „Nuclidmassen“ oder als „Atom-Massen“ (atomic masses) bezeichnet.

¹⁰⁾ *G. P. Baxter, E. Mueller und M. A. Hines, J. Amer. chem. Soc.* **31**, 529 (1909); *G. P. Baxter und R. H. Jesse, ebenda* **31**, 541 (1909).

¹¹⁾ *G. D. Flesch, H. J. Svec und H. G. Staley, Geochim. cosmochim. Acta [London]* **20**, 300 (1960).

¹²⁾ *W. R. Shields, T. J. Murphy, E. J. Catanzaro und E. L. Garner, J. Res. nat. Bur. Standards* **70A**, 193 (1966).

¹³⁾ *R. Ruer und K. Bode, Z. anorg. allg. Chem.* **137**, 101 (1924); *O. Hönlischmid und T. Johannsen, ebenda* **252**, 364 (1944).

¹⁴⁾ *J. R. White und A. E. Cameron, Physic. Rev.* **74**, 991 (1948).

¹⁵⁾ *D. C. Hess jr., M. G. Inghram und R. J. Hayden, Physic. Rev.* **74**, 1531 (1948).

¹⁶⁾ *W. R. Shields, T. J. Murphy und E. L. Garner, J. Res. nat. Bur. Standards* **68A**, 589 (1964).

¹⁷⁾ *W. R. Shields, S. S. Goldich, E. L. Garner und T. J. Murphy, J. geophys. Res.* **70**, 479 (1965).

¹⁸⁾ *T. W. Richards und H. G. Parker, Z. anorg. Chem.* **13**, 81 (1897).

¹⁹⁾ *E. J. Catanzaro, T. J. Murphy, E. L. Garner und W. R. Shields, J. Res. nat. Bur. Standards* **70A**, 453 (1966).

²⁰⁾ *E. J. Catanzaro und T. J. Murphy, J. geophys. Res.* **71**, 1271 (1966).

Neon: ^{20}Ne , ^{21}Ne , ^{22}Ne . — Das in der Tabelle von 1962 angeführte Atomgewicht 20.183 fußte auf den 1928 von *Baxter*²¹⁾ vorgenommenen Gasdichte-Bestimmungen, die 1961 von *T. Batuecas*, dem damaligen Präsidenten der Kommission, neu ausgewertet wurden. Da inzwischen zuverlässige massenspektrometrische Bestimmungen des Mengenverhältnisses der Isotope seitens zweier Forschergruppen²²⁾ vorliegen, aus denen sich übereinstimmend das Atomgewicht 20.179 ± 0.002 bzw. ± 0.003 ergibt, ist jetzt dieser Wert in die Tabelle eingesetzt worden. Unterschiede in der Isotopenzusammensetzung von im Laboratorium aus atmosphärischer Luft dargestelltem Neon und verschiedenen Handelsprodukten wurden nicht gefunden.

Silber: ^{107}Ag , ^{109}Ag . — Das Atomgewicht des Silbers ist früher auf chemischem Wege besonders sorgfältig bestimmt worden. Aus sieben in dem Zeitraum von 1907—1940 ausgeführten chemischen Bestimmungen²³⁾ ergibt sich als Mittelwert 107.8714. Mit Rücksicht darauf, daß 1960 *Shields et al.*²⁴⁾ massenspektrometrisch unter Eichung mit künstlich hergestellten Isotopengemischen den wesentlich niedrigeren Wert 107.8685 ± 0.0013 gefunden hatten, wurde in die Tabelle von 1962 der Wert 107.870 mit einer Fehlergrenze von ± 0.003 eingesetzt. Auf Grund einer von *Scott*²⁵⁾ an der chemischen Atomgewichtsbestimmung mittels Silberhalogeniden geübten Kritik und einer erneuten massenspektrometrischen Bestimmung des Isotopenverhältnisses unter Verwendung eines entsprechend geeichten Spektrometers, die 107.8694 ± 0.0026 für das Atomgewicht ergab²⁶⁾, hat die Internationale Kommission jetzt den Wert von *Shields* in die Tabelle eingesetzt. Sie hat diesen gegenüber dem letztangeführten Wert bevorzugt, weil er mit einem geringeren experimentellen Fehler behaftet ist. *Shields et al.* fanden in sieben Naturvorkommen gediegenen Silbers innerhalb der angegebenen Fehlergrenze das gleiche Isotopenverhältnis wie im Silbernitrat, nämlich $^{107}\text{Ag} : ^{109}\text{Ag} = (51.818 \pm 0.052) : (48.182 \pm 0.052)$.

Die in der Internationalen Atomgewichtstabelle verzeichneten Werte gelten für die Elemente in ihrem natürlichen Zustand, also unter der Bedingung, daß sich ihre Isotopen-Zusammensetzung nicht durch künstlich mit ihnen vorgenommene Operationen geändert hat. Ferner gelten sie unter der Voraussetzung, daß, soweit es sich um natürliche Isotopengemische (Mischelemente) handelt, diese keine Isotope radiogenen Ursprungs enthalten.

Für die in der Natur vorkommenden oder künstlich dargestellten *radioaktiven Elemente* hat die Kommission eine besondere Tabelle herausgebracht, in der von jedem Element jeweils die nach unserer Kenntnis längstlebige Atomart unter Angabe der Halbwertszeit und der Art des Zerfalls angeführt ist. Von einigen Elementen (die durch ein der Massenzahl angefügtes Sternchen kenntlich gemacht sind) ist statt der längstlebigen eine besser bekannte Atomart angeführt.

²¹⁾ *G. P. Baxter* und *H. W. Starkweather*, Proc. nat. Acad. Sci. **14**, 50 (1928); *G. P. Baxter*, J. Amer. chem. Soc. **50**, 603 (1928).

²²⁾ *P. Eberhardt*, *O. Eugster* und *K. Marti*, Z. Naturforsch. **20a**, 623 (1965); *J. R. Walton* und *A. E. Cameron*, ebenda **21a**, 115 (1966).

²³⁾ *T. W. Richards* und *G. S. Forbes*, J. Amer. chem. Soc. **29**, 808 (1907); *O. Hönigschmid*, *E. Zintl* und *P. Thilo*, Z. anorg. allg. Chem. **163**, 65 (1927); *O. Hönigschmid* und *H. Striebel*, Z. physic. Chem., Bodenst.-Festband, 283 (1931); *O. Hönigschmid* und *H. Striebel*, Z. anorg. allg. Chem. **208**, 53 (1932); *G. P. Baxter* und *A. C. Titus*, J. Amer. chem. Soc. **62**, 1828 (1940); *G. P. Baxter* und *O. W. Lundstedt*, ebenda **62**, 1829, 1832 (1940).

²⁴⁾ *W. R. Shields*, *D. N. Craigh* und *V. H. Dibeler*, J. Amer. chem. Soc. **82**, 5033 (1960).

²⁵⁾ *A. F. Scott*, Analytic. Chem. **33**, 23A (1961).

²⁶⁾ *E. A. C. Crouch* und *A. H. Turnbull*, J. chem. Soc. [London] **1962**, 161.

Halbwertszeiten und Zerfallsarten von ausgewählten Atomarten natürlicher und künstlicher Radioelemente

Name	Symbol	Ordnungs- zahl	Massen- zahl	Halbwertszeit	Zerfallsart
Actinium	Ac	89	227	21.8 Jahre	α, β^-
Americium	Am	95	243	$7.95 \cdot 10^3$ Jahre	α
Astat	At	85	210	8.3 Std.	α, K
Berkelium	Bk	97	247	$1.4 \cdot 10^3$ Jahre	α
Californium	Cf	98	252 *	2.65 Jahre	α , Spaltg.
Curium	Cm	96	247	$1.6 \cdot 10^7$ Jahre	α
Einsteinium	Es	99	254	270 Tage	α
Fermium	Fm	100	257	80 Tage	α , Spaltg.
Francium	Fr	87	223	22 min	α, β^-
Laurentium	Lr	103	256	45 s	α
Mendelevium	Md	101	257	3.0 Std.	α, K , Spaltg.?
Neptunium	Np	93	237	$2.14 \cdot 10^6$ Jahre	α
Nobelium	No	102	255	3.0 min	α
Plutonium	Pu	94	244	$8.2 \cdot 10^7$ Jahre	α
Polonium	Po	84	210 *	138.4 Tage	α
Promethium	Pm	61	147 *	2.62 Jahre	β^-
Protactinium	Pa	91	231	$3.44 \cdot 10^4$ Jahre	α
Radium	Ra	88	226	1600 Jahre	α
Radon	Rn	86	222	3.82 Tage	α
Technetium	Tc	43	99 *	$2.14 \cdot 10^5$ Jahre	β^-
Thorium	Th	90	232	$1.41 \cdot 10^{10}$ Jahre	α
Uran	U	92	238	$4.5 \cdot 10^9$ Jahre	α

Die in dem früheren Bericht¹⁾ angegebene Zusammensetzung der Internationalen Atomgewichtskommission (Atomgewichtskommission der Internationalen Union für Reine und Angewandte Chemie) hat sich inzwischen durch satzungsgemäßes Ausscheiden der Mehrzahl ihrer damaligen Mitglieder verändert. Ihr gehören von Ende 1967 bis 1971 an: *E. Wichers*, Kensington (Präsident), *J. Gueron*, Brüssel (Schriftführer), *S. Fujiwara*, Tokio, *N. H. Greenwood*, Newcastle, *H. S. Peiser*, Washington, *J. Spaepen*, Geel/Belgien, *H. G. Thode*, Hamilton/Ontario, *A. H. Wapstra*, Oak Ridge. Beratende Mitglieder: *A. E. Cameron*, Oak Ridge, *G. N. Flerow*, Dubna/UdSSR, *E. Roth*, Gif-sur-Yvette/Frankreich, und *H. J. Svec*, Ames/Iowa.

Hamburg, 22. Januar 1968

H. Remy