

# Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft

73. Jahrg. Nr. 1. — (Abteilung A (Vereinsnachrichten), S. 1—23 — 10. Januar

## O. Hahn, S. Flügge und J. Mattauch: Die chemischen Elemente und natürlichen Atomarten nach dem Stande der Isotopen- und Kernforschung.

(Bericht über die Arbeiten von Ende 1937 bis Ende 1939.)

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

(Eingegangen am 12. Dezember 1939.)

Seit einer Reihe von Jahren hat der eine von uns in den „Berichten der Deutschen Chemischen Gesellschaft“ jährlich einen Bericht über „die chemischen Elemente und natürlichen Atomarten nach dem Stande der Isotopen- und Kernforschung“ herausgegeben. Das Interesse an dieser Zusammenstellung verschob sich dabei immer mehr zur Seite der Physik. Der Isotopen-Bericht wird deshalb von jetzt ab erstmalig in der „Physikalischen Zeitschrift“ veröffentlicht.

Die Zusammenstellung erscheint jedoch auf Wunsch der Redaktion wie in früheren Jahren auch in den „Berichten“ weiter.

Die Unterteilung ist die gleiche wie bisher: Der erste Teil des Berichts bringt die Art der Berechnung der Atommassen aus massenspektrographischen und kernphysikalischen Ergebnissen. Der zweite Teil enthält das neu hinzugekommene Material über die Isotopenzusammensetzung der einzelnen Elemente und die chemischen Atomgewichte.

Statt wie bisher einer Tafel folgen dann zwei Tafeln. Tafel I bringt die Isotope und Atomgewichte der chemischen Elemente, soweit Ende 1939 bekannt, in gegenüber der früheren Anordnung erweiterter Form. In die Tafel wurden auch die  $\beta$ -stabilen  $\alpha$ -Strahler der natürlichen Zerfallsreihen aufgenommen, weil sie zur Festlegung der Packungsanteil-Kurve zwischen Pb und U notwendig sind. Als einziger Vertreter der Ordnungszahl 89 wurde auch der langlebige  $\beta$ -Strahler Ac eingetragen.

Für die Zwecke der Kernphysik ist es oft erforderlich zu wissen, mit welcher Sicherheit wahrscheinlich nicht existierende Isotope ausgeschlossen werden können. Soweit Messungen von maximal möglicher Häufigkeit vorliegen, wurden sie in Tafel II zusammengestellt.

Schließlich folgt noch eine Kurve der Packungsanteile der einzelnen Atomarten mit Angabe der Genauigkeitsgrenzen der einzelnen Werte und Hinweis auf noch unsichere Stellen.

# I. Atommassen aus massenspektrographischen und kernphysikalischen Ergebnissen.

Zur genauen Festlegung der Atommassen wurde eine umfassende Neuberechnung vorgenommen.

## a) Leichte Kerne.

Hier liegen außer dem massenspektrographischen Material in großem Umfange Kernumwandlungswerte vor. Es wurde zur Neuberechnung wie folgt vorgegangen:

Zunächst wurden die drei Standardmassen  $^1\text{H}$ ,  $^2\text{D}$  und  $^{12}\text{C}$  berechnet unter Zugrundelegung der Messung für die drei Grunddubletts  $^{12}\text{CH}_4 - ^{16}\text{O}$ ,  $\text{D}_3 - ^{12}\text{C}^{++}$ ,  $\text{H}_2 - \text{D}$ . Es wurden gewogene Mittel gebildet aus den gut miteinander übereinstimmenden Meßergebnissen von J. Mattauch und A. Bönnisch<sup>1)</sup> einerseits und von K. T. Bainbridge und E. B. Jordan<sup>2)</sup> andererseits und aus diesen Mittelwerten die Atommassen selbst berechnet. Für das erste dieser drei Dubletts ergibt sich ein Mittelwert, der sich mit einer Neubestimmung von Asada und Mitarbeitern<sup>3)</sup> deckt. Die Werte der Grunddubletts von Aston, dessen Fehlerangabe recht groß ist, und der für  $^{12}\text{CH}_4 - ^{16}\text{O}$  einen abweichenden Wert erhält, wurden dabei nicht verwertet.

Weiterhin wurden die Massen von  $^4\text{He}$ ,  $^7\text{Li}$ ,  $^9\text{Be}$ ,  $^{10}\text{B}$ ,  $^{11}\text{B}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{14}\text{N}$ ,  $^{15}\text{N}$ ,  $^{20}\text{Ne}$ ,  $^{21}\text{Ne}$ ,  $^{22}\text{Ne}$  und  $^{40}\text{A}$  aus den massenspektrographischen Dubletts von Bainbridge und Jordan<sup>2)</sup> sowie von Mattauch und Mitarbeitern<sup>4)</sup> <sup>5)</sup> <sup>1)</sup> neu berechnet (Gruppe I). Auch hier wurden gewogene Mittel aus den Einzelergebnissen unter Berücksichtigung der von den Verff. angegebenen Fehlergrenzen gebildet. Die älteren Dublettmessungen von Mattauch bei  $^{12}\text{CH}_3 - ^{15}\text{N}$  und  $^{16}\text{OH}_2 - ^{18}\text{O}$  sowie die älteren Astonschen Messungen wurden dabei nicht verwertet<sup>2)</sup>.

Um weitere Elemente einzubeziehen, muß man auch Umwandlungsdaten zur Massenbestimmung heranziehen. Das Material über die bei Umwandlungen auftretenden Wärmetönungen wurde dem Bericht von M. S. Livingston und H. A. Bethe<sup>2)</sup> entnommen und durch folgende neuere Messungen ergänzt:

$^9\text{Be}$ (p, $\alpha$ )	$^6\text{Li}$	$\pm$	$2.279 \pm 0.04$	TME <sup>6)</sup> <sup>7)</sup>
$^9\text{Be}$ (p, d)	$^8\text{Be}^*$	$\pm$	$0.580 \pm 0.006$	TME <sup>6)</sup> <sup>8)</sup>
$^7\text{Li}$ (p, $\alpha$ )	$^4\text{He}$	$\pm$	$18.55 \pm 0.03$	TME <sup>9)</sup>
$^6\text{Li}$ (d, $\alpha$ )	$^4\text{He}$	$\pm$	$23.85 \pm 0.04$	TME <sup>9)</sup>
$^{18}\text{O}$ (p, $\alpha$ )	$^{15}\text{N}$	$\pm$	$4.25 \pm 0.16$	TME <sup>10)</sup>
$^{15}\text{N}$ (p, $\alpha$ )	$^{12}\text{C}$	$\pm$	$5.37 \pm 0.16$	TME <sup>10)</sup>

<sup>1)</sup> J. Mattauch, Physik. Ztschr. **39**, 892 [1938].

<sup>2)</sup> M. S. Livingston u. H. A. Bethe, Rev. mod. Physics **9**, 245 [1937]. insbesondere Tab. 71, S. 370; Tab. 72, S. 371 f.

<sup>3)</sup> T. Asada, T. Okuda, K. Ogata u. S. Yoshimoto, Nature **143**, 797 [1939].

<sup>4)</sup> J. Mattauch u. R. Herzog, Naturwiss. **25**, 747 [1937].

<sup>5)</sup> J. Mattauch, Physik. Ztschr. **38**, 951 [1937].

<sup>6)</sup> Bei diesen Reaktionen wurde noch eine Korrektur angebracht. Die Wärmetönung war hier durch die Ablenkung der Partikeln in einem elektrischen Radialfeld bestimmt worden, wobei nicht berücksichtigt war, daß beim Eintreten in das Feld die Teilchen einem Potentialsprung überwinden müssen. — TME = tausendstel Masseneinheit. Ein Sternchen bedeutet, daß der betreffende Kern nicht stabil ist.

<sup>7)</sup> S. K. Allison, L. S. Skaggs u. N. M. Smith jr., Physic. Rev. **54**, 171 [1938].

<sup>8)</sup> S. K. Allison, E. R. Graves, L. S. Skaggs u. N. M. Smith jr., Physic. Rev. **55**, 107 [1939].

<sup>9)</sup> N. M. Smith jr., Physic. Rev. **56**, 548 [1939].

<sup>10)</sup> W. E. Burcham u. C. L. Smith, Nature **143**, 795 [1939].

Zunächst wurde für zehn Reaktionen, an denen nur solche Kerne beteiligt sind, deren Massen bereits rein massenspektrographisch bestimmt waren, aus diesen Massen die Wärmetonung und ihre Fehlergrenzen berechnet. Aus dieser berechneten Wärmetonung und der bei der Umwandlung direkt beobachteten wurde ein gewogenes Mittel gebildet und mit Hilfe dieses Mittels jeweils aus der als richtig unterstellten Masse des einen an der Reaktion beteiligten Kerns die des anderen berechnet. Auf diese Weise wurden noch geringfügige Korrekturen an den massenspektrographischen Werten von  $^7\text{Li}$ ,  $^9\text{Be}$ ,  $^{10}\text{B}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{14}\text{N}$  und  $^{15}\text{N}$  angebracht (Gruppe II).

Unter Zugrundelegung der rein massenspektrographischen Werte von Gruppe I und der korrigierten Werte von Gruppe II wurden sodann Kernumwandlungen benutzt, bei denen ebenfalls die Fehlergrenzen der Umwandlungsenergie angebar sind, aber die Masse des einen Reaktionspartners noch nicht bei Gruppe I oder Gruppe II vorkam. Auf diese Weise konnten die Massen von  $^3\text{H}^*$ ,  $^3\text{He}$ ,  $^6\text{Li}$ ,  $^8\text{Be}^*$ ,  $^{10}\text{Be}^*$ ,  $^{17}\text{O}$ ,  $^{18}\text{O}$ ,  $^{19}\text{F}$ ,  $^{23}\text{Na}$ ,  $^{24}\text{Na}^*$  bestimmt werden (Gruppe III). Insbesondere ergibt sich  $^8\text{Be}^*$  als  $\alpha$ -labil, was auch den direkten Beobachtungen von O. Laaff<sup>11)</sup> entspricht.

Kernreaktionen, an denen Neutronen beteiligt sind, wurden bis dahin nicht verwendet, da die Energiebestimmung von Neutronen immer etwas ungenauer ist als die von geladenen Teilchen. Die Masse des Neutrons selbst wurde aus dem durch zahlreiches experimentelles und theoretisches Material sehr sicher gestellten Massendefekt des Deuterons von  $2.35 \pm 0.02$  TME berechnet.

Gruppe IV umfaßt Massenbestimmungen unter Benutzung von weniger genau bekannten Wärmetonungen bei Kernumwandlungen, deren Fehlergrenzen nicht angegeben werden können. Es handelt sich dabei um den Massenbereich zwischen 24 und 34. Dabei wurde folgender Weg eingeschlagen: in Gruppe III war die Masse des  $\beta$ -labilen Kerns  $^{24}\text{Na}^*$  mitbestimmt worden. Er zerfällt unter Emission von  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlen mit einer Gesamtenergieabgabe von 5.0 TME in  $^{24}\text{Mg}$ , dessen Masse hierdurch festgelegt wurde. Von dort führt die Reaktion  $^{24}\text{Mg}$  ( $\alpha$ , p)  $^{27}\text{Al}$  zum  $^{27}\text{Al}$ , an welches die Isotope  $^{25}\text{Mg}$ ,  $^{28}\text{Al}^*$  und  $^{30}\text{Si}$  durch Kernreaktionen unmittelbar angeschlossen werden konnten. Die Reaktion  $^{25}\text{Mg}$  ( $\alpha$ , p)  $^{28}\text{Al}^*$  führt wieder zu einem radioaktiven Kern, aus dessen Zerfallsenergie von 3.7 TME die Masse von  $^{28}\text{Si}$  berechnet werden kann. Sonst wurden  $\beta$ -Zerfallsenergien an keiner Stelle benutzt. Diese Gruppe IV umfaßt die stabilen Kerne  $^{24}\text{Mg}$ ,  $^{25}\text{Mg}$ ,  $^{26}\text{Mg}$ ,  $^{27}\text{Al}$ ,  $^{28}\text{Si}$ ,  $^{30}\text{Si}$ ,  $^{31}\text{P}$  und  $^{34}\text{S}$ .

Darüber hinaus liegt massenspektrographisches Material von F. W. Aston<sup>12)</sup><sup>2)</sup> vor für  $^{20}\text{Si}$ ,  $^{31}\text{P}$ ,  $^{32}\text{S}$ ,  $^{35}\text{Cl}$ ,  $^{37}\text{Cl}$ ,  $^{36}\text{A}$ . Die Fehler können bei diesen Massen schon mehr als 1 TME betragen.

### b) Schwere Kerne.

Außer einigen Messungen von Aston<sup>12)</sup> bei Ti, Cr, Br, Kr, Xe und von J. Mattauch<sup>13)</sup> bei Sr verfügen wir über ein sehr umfangreiches Material

<sup>11)</sup> Ann. Physik [5] **32**, 743 [1938].

<sup>12)</sup> Proc. Roy. Soc. (London) Ser. A. **168**, 391 [1937]; Nature **141**, 1096 [1938].

<sup>13)</sup> Naturwiss. **25**, 170 [1937].

durch die Arbeiten von A. J. Dempster<sup>14)</sup> und A. C. Graves<sup>15)</sup>). Diese Neumessungen wurden den in der Tafel angegebenen Massenwerten zugrunde gelegt. Die Packungsanteile ergeben eine Kurve, die in der Abbildung dargestellt ist. Sie zeigt einige Abweichungen vom glatten Verlauf. Von den Mattauchschen Bestimmungen bei Sr und den Astonschen bei Ni und Br, die von den Verff. selbst als unsicher angesehen werden, wurde bei der Konstruktion der Kurve abgesehen. Die Kurve zeigt deutlich zunächst, daß kurz vor Fe ein Gebiet besonders starker Bindung liegt. Sie zeigt weiterhin ein Gebiet ausgesprochen starker Bindung in der Gegend von Kr. Selbst wenn die absolute Lage der Astonschen Punkte für Kr zu tief wäre, so spräche doch immer noch ihre Lage relativ zueinander dafür, daß hier eine scharfe Ausbuchtung der Packungsanteil-Kurve nach unten vorliegt.

Besondere Schwierigkeit macht das Gebiet zwischen den Massen 150 und 190. Absolutwerte von Packungsanteilen stehen hier nirgends zur Verfügung. Lediglich folgende Packungsanteildifferenzen sind dort bekannt: Yb und Cp gegen Sr (mehrere Isotope), W und Ta gegen Zr (ebenfalls mehrere Isotope). Legt man für die Gegend um Zr und Sr den durch die Astonschen Messungen beim Kr in diesem Massengebiet naheliegenden und in der Abbildung eingezeichneten Verlauf zugrunde, so ergeben sich die eingetragenen Kreuze in dem Gebiet zwischen 170 und 190. Man darf aber sicher die Kurve nicht durch diese Punkte legen, da sie dann zwischen Cp und Ta so steil ansteigen würde, daß dort ein ganzer Bereich in höchstem Maße  $\alpha$ -stabil würde mit einer Zerfallsenergie von rund 10 MeV\*). Um diese Punkte berücksichtigen zu können, wurde zunächst die Möglichkeit geprüft, daß die Kurve zwischen Cp und Ta eine Unstetigkeitsstelle durchläuft, so daß etwa bis zur Masse 176 aufwärts die Kurve von links her flach verläuft, dann etwa vom Packungsanteil -0.5 auf +1 springt und dann weiter flach genug verläuft, um auch den höheren Massen  $\alpha$ -Stabilität zu garantieren. Auf ein solches Verhalten scheinen auch die bekannten Anomalien beim Cp hinzudeuten: die  $\beta$ -Aktivität und der extrem große Spin des seltenen <sup>176</sup>Cp-Isotops. Diese Möglichkeit läßt sich aber ausschließen. Damit nämlich der Kern <sup>176</sup>W existieren kann, dessen Packungsanteil +1.5 betragen soll, muß der doppelte  $\alpha$ -Zerfall über <sup>173</sup>Hf in <sup>171</sup>Yb verboten sein. Der Packungsanteil von <sup>171</sup>Yb ist aber ebenfalls gemessen (-0.7). Die beiden Kerne unterscheiden sich, falls man beide Zahlen glauben dürfte, so stark in ihrer Masse, daß bei der Emission zweier  $\alpha$ -Teilchen nacheinander aus <sup>182</sup>W insgesamt rund 30 MeV Energie frei würden. Es müßte also mindestens einer der beiden  $\alpha$ -Zerfälle in der Natur stattgefunden, und entweder alle <sup>182</sup>W-Kerne oder alle <sup>178</sup>Hf-Kerne bereits vernichtet haben. Demnach bleibt nur die Möglich-

<sup>14)</sup> Physic. Rev. **53**, 64, 898 [1938].

<sup>15)</sup> Physic. Rev. **55**, 863 [1939].

\*) Bedeutet  $M$  die genaue Masse,  $A$  die Massenzahl eines Atoms, so ist der Packungsanteil  $f$  definiert durch  $M = A(1+f)$ . Damit ein Kern der Masse  $M$   $\alpha$ -stabil ist, muß  $M(A) - M(A-4) < M(^4He)$  sein; d. h., wenn  $f$  in Einheiten  $10^{-4}$  gemessen wird, da die  $^4$ He-Masse um  $38.4 \times 10^{-4}$  den ganzzahligen Wert übersteigt:  $A f(A) - (A-4) f(A-4) < 38.4$ . Sicht man den Sprung um 4 Masseneinheiten als Differential an, so ergibt sich auf diese Weise die Gleichung  $4(A \frac{df}{dA} + f) - 38.4 = 10 E$ , worin  $E$  die  $\alpha$ -Zerfallsenergie in TME bedeutet.

keit, die Punkte in dieser Gegend so festzulegen, daß sie auf eine vernünftige glatte Kurve fallen und größere Anomalien im Massengebiet um 90 herum, also bei den Bezugsmassen, anzunehmen. Zu diesem Zwecke wurde die Packungsanteilkurve zwischen den Massen 150 und 190, da sich eine völlige Vermeidung der  $\alpha$ -Labilität in diesem Bereich nicht erreichen läßt und auch infolge der bekannten Aktivität von  $^{148}\text{Sm}$  durchaus wahrscheinlich ist, so gelegt, daß sich überall eine  $\alpha$ -Labilität mit einer Zerfallskonstante von  $10^{-20} \text{ sec}^{-1}$  ergab, d. i. eine rd. 17-mal längere Halbwertszeit, als sie beim  $^{148}\text{Sm}$  beobachtet worden ist. Etwas andere Annahmen würden die Packungsanteilkurve kaum wesentlich geändert haben. Immerhin wäre es sehr erwünscht, dies Gebiet durch zahlreiche genaue Einzelmessungen noch besser zu belegen.

Am besten bekannt ist endlich die Gegend der natürlichen  $\alpha$ -Strahler oberhalb von Hg. Die Kurve konnte hier deshalb auch wieder genauer unter Mitnahme der einzelnen differentiellen Schwankungen um den mittleren Verlauf herum gezeichnet werden. Die angegebenen Werte sind an die direkt bestimmten Packungsanteile von Tl, Pb und Bi angeschlossen mit Hilfe der von S. Flügge und A. Krebs<sup>16)</sup> veröffentlichten Abbildung.

## II. Isotopenzusammensetzung der einzelnen Elemente und chemische Atomgewichte.

Im folgenden werden die Änderungen, die gegenüber der 1938 erschienenen Tabelle von O. Hahn in Tafel I vorgenommen wurden, des näheren durch Literaturzitate belegt.

**Wasserstoff (1).** Das bei der D+D-Reaktion entstehende H-Isotop  $^3\text{H}$  wurde von L. W. Alvarez und R. Cornog<sup>17)</sup> als langlebiger  $\beta$ -Strahler sehr kurzer Reichweite nachgewiesen. Es wurde daher als nicht stabile Atomart nicht mehr in die Tafel aufgenommen.

**Helium (2).** Indem das Cyclotron als Massenspektrograph verwendet wurde, gelang es Alvarez und Cornog<sup>17)</sup> im natürlichen He, das Isotop  $^3\text{He}$  mit sehr geringer Häufigkeit nachzuweisen. Für spektroskopisch reines (atmosphärisches) He ergab sich für das Häufigkeitsverhältnis  $^3\text{He}/^4\text{He}$  der Wert  $10^{-7}$ , für Bomben-He aus irdischen Gasquellen  $10^{-8}$ . Für die Tafel wurde der erste Wert übernommen.

**Beryllium (4).** Da es jetzt hinreichend gesichert erscheint, daß  $^8\text{Be}$  und  $^{10}\text{Be}$  instabil sind, wurden sie aus der Tafel gestrichen<sup>11) 2)</sup>.

**Kohlenstoff (6).** Massenspektrometrische Untersuchungen von A. O. Nier und E. A. Gulbransen<sup>18)</sup> von  $\text{CO}_2$  aus verschiedenen Quellen zeigen charakteristische Variationen des Häufigkeitsverhältnisses  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$  von maximal 5%. Im allgemeinen erscheint das schwere Isotop in Kalkstein, das leichte in Pflanzen bevorzugt. Für die Tafel wurde der Wert  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}=90 \pm 2$ , den Nier und Gulbransen als mittleren Wert verwenden und für Luft gefunden hatten.

<sup>16)</sup> Physik. Ztschr. **38**, 13 [1937].

<sup>17)</sup> Physic. Rev. **56**, 379, 613 [1939].

<sup>18)</sup> Journ. Amer. chem. Soc. **61**, 697 [1939].

aufgenommen; er stimmt gut mit der alten massenspektrometrischen Bestimmung von A. L. Vaughan, J. H. Williams und J. T. Tate<sup>19)</sup> ( $91.6 \pm 2.2$ ) und der spektroskopischen Messung von A. R. Brosi und W. D. Harkins<sup>20)</sup> ( $92.2 \pm 3.7$ ) überein.

Sauerstoff (8). In derselben Arbeit kontrollierten A. O. Nier und E. A. Gulbransen<sup>18)</sup> auch den alten Mecke-Childsschen Wert für das Häufigkeitsverhältnis  $^{16}\text{O}/^{17}\text{O} = 2500$  und fanden ihn innerhalb von 10% richtig.

Schwefel (16). Von A. O. Nier<sup>21)</sup> wurde mit Sicherheit ein neues seltenes Isotop von der Massenzahl 36 nachgewiesen. Niers Neubestimmung der Häufigkeiten wurde auch für die anderen Isotope in die Tafel aufgenommen.

Chlor (17). Hier wurde das von A. O. Nier und E. E. Hanson<sup>22)</sup> ermittelte Häufigkeitsverhältnis  $^{35}\text{Cl}/^{37}\text{Cl} = 3.07 \pm 0.03$  zugrunde gelegt.

Kalium (19). Die eingehenden Untersuchungen von A. K. Brewer<sup>23)</sup> haben für das Häufigkeitsverhältnis von  $^{39}\text{K}/^{41}\text{K}$  in Proben von Ozeanwasser verschiedener Herkunft und Tiefe den konstanten Wert 14.20 ergeben. Für Mineralien schwankt der Wert zwischen 14.1 und 14.6, in Pflanzenaschen sogar zwischen 12.6 und 14.6. Als mittlerer Wert wurde in der Tafel 14.2 benutzt.

Calcium (20). Von Nier<sup>21)</sup> wurden die bisher unbekannten Isotope  $^{46}\text{Ca}$  und  $^{48}\text{Ca}$  entdeckt und die relativen Häufigkeiten aller Ca-Isotope neu bestimmt.

Titan (22). Chrom (24). Eisen (26). Hier liegen neue genaue Messungen der relativen Häufigkeiten von A. O. Nier<sup>21) 24)</sup> vor, die für die Tafel benutzt wurden.

Kobalt (27). Der Nachweis für  $^{57}\text{Co}$  von M. B. Sampson und W. Bleakney<sup>25)</sup> gründete sich auf die Auffindung einer Linie bei der Masse 92, die als  $^{57}\text{Co}^{35}\text{Cl}$  gedeutet wurde, während die Massenzahl 57 selbst durch eine Verunreinigung besetzt war. Die Auffindung zweier Halbwertszeiten bei der Neutronenbestrahlung von Co schien diese Deutung zu stützen. Seitdem man die Erscheinung der Isomerie an anderen Elementen kennengelernt hat, entfällt diese Stütze. Die Existenz des Isotops  $^{57}\text{Co}$  erscheint daher zu unsicher, und es wurde gestrichen.

Nickel (28). Von W. A. Lub<sup>26)</sup> wurde die Existenz von  $^{61}\text{Ni}$  mit der Parabelmethode bestätigt, jedoch eine viel geringere Häufigkeit gefunden, als früher von Dempster angegeben war, nämlich  $^{61}\text{Ni}/^{64}\text{Ni} = 0.1$  (statt 1).

<sup>19)</sup> Physic. Rev. **46**, 327 [1934].

<sup>20)</sup> Physic. Rev. **52**, 472 [1937].

<sup>21)</sup> Physic. Rev. **53**, 282 [1938].

<sup>22)</sup> Physic. Rev. **50**, 722 [1936].

<sup>23)</sup> Journ. Amer. chem. Soc. **58**, 365, 370 [1936].

<sup>24)</sup> Physic. Rev. **55**, 1143 [1939].

<sup>25)</sup> Physic. Rev. **50**, 732 [1936].

<sup>26)</sup> Kon. Akad. Wetensch. Amsterdam. Proc. **42**, 3 [1939].

Die von Lub umgerechneten Häufigkeitswerte würden in die Tafel eingesetzt.

Zink (30). Strontium (38). Von A. O. Nier<sup>29)</sup> <sup>29)</sup> wurden genauere Bestimmungen der Häufigkeit durchgeführt.

Molybdän (42). Messungen von J. Mattauch und H. Lichtblau<sup>27)</sup> ergaben die in die Tafel übernommenen Häufigkeitswerte. <sup>103</sup>Mo ließ sich nicht nachweisen, trotzdem noch ein hundertstel des Betrages der von J. de Gier und P. Zeeman<sup>28)</sup> geschätzten Häufigkeit hätte gefunden werden müssen.

Rhodium (45). Wie beim Co war auch beim Rh das Auftreten von zwei Halbwertszeiten bei der Neutronenbestrahlung für Sampson und Bleakney<sup>25)</sup> die Veranlassung, massenspektrometrisch nach einem zweiten Isotop zu suchen. Da, wie die Verff. hervorheben, die massenspektrometrische Untersuchung sehr schwierig war, und eine geringe Verunreinigung mit Hg nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden konnte, wurde das vorher vermutete Isotop <sup>101</sup>Rh gestrichen, zumal inzwischen bei <sup>104</sup>Rh\* die Isomerie völlig sicher gestellt ist.

Barium (56). Neue Messungen von A. O. Nier<sup>29)</sup> ergeben die Häufigkeitswerte der Tafel.

Samarium (62). Durch Aufnahme des Massenspektrums von Sm auf Spezialplatten, die für den Nachweis von  $\alpha$ -Teilchenbahnen geeignet sind, konnten T. R. Wilkins und A. J. Dempster<sup>30)</sup> die  $\alpha$ -Aktivität dem Isotop <sup>148</sup>Sm zuordnen. Seine Halbwertszeit ergibt sich aus den Messungen von R. Hosemann<sup>31)</sup> bei Berücksichtigung der von Aston geschätzten Häufigkeit zu  $1.4 \times 10^{11}$  Jahren.

Europium (63). Das von H. Lichtblau<sup>32)</sup> mit den Massenspektrographen gemessene Häufigkeitsverhältnis von <sup>151</sup>Eu/<sup>153</sup>Eu beträgt  $0.963 \pm 0.012$ .

Gadolinium (64). Dysprosium (66). Erbium (68). Ytterbium (70). Bei diesen Elementen wurden von A. J. Dempster<sup>33)</sup> je zwei seltene Isotope mit kleineren Massen entdeckt, nämlich <sup>152</sup>Gd, <sup>154</sup>Gd, <sup>158</sup>Dy, <sup>160</sup>Dy, <sup>162</sup>Er, <sup>164</sup>Er, <sup>166</sup>Yb, <sup>170</sup>Yb. Ihre relativen Häufigkeiten wurden von A. J. Dempster geschätzt. Die Aufnahme dieser Isotope erforderte geringe Änderungen der bisherigen Häufigkeitsangaben von Aston. Beim Yb haben H. Schüler, J. Roig und H. Korschning<sup>34)</sup> aus Messungen der Hyperfeinstruktur das Häufigkeitsverhältnis <sup>173</sup>Yb/<sup>171</sup>Yb = 1.14 gefunden, während aus den Schätzungen Astons 1.9 folgt; dagegen stehen die relativen Häufigkeiten der geraden Isotope nicht im Widerspruch zu Astons An-

<sup>27)</sup> Ztschr. physik. Chem. B. **42**, 288 [1939].

<sup>28)</sup> Kon. Akad. Wetensch. Amsterdam, Proc. **39**, 327 [1936].

<sup>29)</sup> Physic. Rev. **54**, 275 [1938].

<sup>30)</sup> Physic. Rev. **54**, 315 [1938].

<sup>31)</sup> Ztschr. Physik **99**, 405 [1936].

<sup>32)</sup> Naturwiss. **27**, 260 [1939].

<sup>33)</sup> Physic. Rev. **53**, 727 [1938].

<sup>34)</sup> Ztschr. Physik **111**, 165 [1937]; s. a. H. Schüler u. J. Roig, Naturwiss. **26**, 495 [1938].

gaben. Eine dementsprechende Änderung der Häufigkeitswerte wurde in der Tafel vorgenommen.

Hohnium (67). Der in Spalte 15 von Tafel I eingetragene Wert ist eine Neubestimmung von O. Hönigschmid<sup>34a)</sup>)

Cassiopeium (71). Von J. Mattauch und H. Lichtblau<sup>35)</sup> wurde massenspektrographisch die Masse des seltenen Isotops zu 176 bestimmt. Die Messung der Häufigkeit ergab  $^{176}\text{Cp}/^{175}\text{Cp} = 0.0258 \pm 0.0007$ . Da nach Messungen von M. Heyden und W. Wefelmeier<sup>36)</sup>, die von W. F. Libby<sup>37)</sup> bestätigt wurden, das Cp eine natürliche  $\beta$ -Aktivität zeigt, scheint es vernünftig, diese dem  $^{176}\text{Cp}$  zuzuschreiben. Die Halbwertszeit von  $^{176}\text{Cp}$  ergibt sich nach Libby unter Berücksichtigung der Häufigkeit zu  $(7.3 \pm 2) \times 10^{10}$  Jahren. Das in Spalte 15 der Tafel I aufgenommene chemische Atomgewicht ist eine Neubestimmung von O. Hönigschmid<sup>37a)</sup>).

Hafnium (72). Ein neues seltenes Isotop der Masse 174 wurde von A. J. Dempster<sup>38)</sup> entdeckt und seine Häufigkeit geschätzt. Die Existenz eines weiteren seltenen Isotops  $^{172}\text{Hf}$  ist nicht ausgeschlossen.

Thallium (81). Eine Neubestimmung von A. O. Nier<sup>29)</sup> ergab  $^{203}\text{Tl}/^{205}\text{Tl} = 0.410 \pm 0.001$ .

Blei (82). Genaue massenspektrometrische Analysen von gewöhnlichem Pb, die A. O. Nier<sup>39)</sup> unternommen hat, haben zu unerwarteten Schwankungen in seiner Isotopenzusammensetzung geführt. Die Werte für geologisch sehr alte Pb-Proben erwiesen sich indessen als konstant. Die älteste Probe ergibt

Atomart (Massenzahl) . . . . .	204	206	207	208
Prozentuale Beteiligung . . . . .	1.48	23.6	22.6	52.3

Diese Werte wurden der Tafel zugrunde gelegt. Ferner hat A. O. Nier<sup>40)</sup> 21 Proben von radiogenem Pb verschiedenen Ursprungs massenspektrometrisch untersucht.

Uran (92). A. O. Nier<sup>41)</sup> hat neben  $^{235}\text{U}$  (AcU) auch noch  $^{234}\text{U}$  (U II) massenspektrometrisch nachweisen können und die folgenden Häufigkeitsverhältnisse gemessen.  $^{238}\text{U}/^{235}\text{U} = 139 \pm 1\%$  und  $^{238}\text{U}/^{234}\text{U} = 17\,000 \pm 10\%$ . Nachdem mit Hilfe der oben erwähnten Untersuchungen radiogener Bleiproben das Abzweigungsverhältnis der Ac-Reihe von A. O. Nier<sup>40)</sup> zu  $(4.6 \pm 0.1)\%$  bestimmt worden war, konnte er mit Hilfe seiner Häufigkeiten der U-Isotope sowie der von A. F. Kovarik und N. J. Adams<sup>42)</sup> gefundenen Zahl von  $\alpha$ -Teilchen (24 770) je Gramm Uran je Sek. die Halbwertszeiten von U I zu  $4.56 \times 10^9$  Jahren, von U II zu  $2.7 \times 10^5$  Jahren und von AcU zu  $7.13 \times 10^8$  Jahren berechnen.

<sup>34a)</sup> Naturwiss. **27**, 855 [1939].

<sup>35)</sup> Ztschr. Physik **111**, 514 [1939].

<sup>36)</sup> Naturwiss. **26**, 612 [1938].

<sup>37)</sup> Physic. Rev. **56**, 21 [1939].

<sup>37a)</sup> Ztschr. anorgan. allgem. Chemie, **240**, 284 [1939].

<sup>38)</sup> Physic. Rev. **55**, 794, [1939].

<sup>39)</sup> Journ. Amer. chem. Soc. **60**, 1571 [1938].

<sup>40)</sup> Physic. Rev. **55**, 153 [1939].

<sup>41)</sup> Physic. Rev. **55**, 150 [1939].

<sup>42)</sup> Physic. Rev. **40**, 718 [1932].

In der Tafel I gibt die Spalte 5 für die wenigen aktiven Kerne an, ob  $\alpha$ - oder  $\beta$ -Zerfall vorliegt. In Spalte 10 sind die Packungsanteile angegeben, die bei den schwereren Kernen direkt massenspektrographisch bestimmt sind. In Klammern gesetzte Zahlen sind aus der Kurve geschätzt. Die in Spalte 11 und 12 aufgeführten Zahlen geben den Massendefekt gegenüber freien Protonen und Neutronen. Sie sind aus den Isotopengewichten und den bekannten Massen von Neutron und Proton berechnet. Umrechnungsfaktor:  $0.931 \text{ MeV} = 1 \text{ TME}$ . Die in Spalte 13 aufgenommene mittlere Massenzahl berechnet sich nach der Mischungsregel aus Spalte 7 und 8 bei den leichteren Elementen bis einschließlich Argon, aus Spalte 7 und 4 bei den schwereren Elementen. Die in Spalte 14 angegebenen chemischen Atomgewichte sind aus Spalte 13 mit Hilfe des Smytheschen Umrechnungsfaktor 1.000275, von Argon aufwärts unter Berücksichtigung des in Spalte 10 angegebenen Packungsanteils gewonnen.

Tafel I. Isotope und Atomgewichte der chemischen Elemente, soweit Ende 1939 bekannt.

Z.	Element	Sym- bol	Mas- sen- zahl A	Neu- tron- zahl $A-Z$	Häufig- keit in %	Isotopen- gewicht M $^{16}\text{O} = 16$	Fehler von M TMF	Packungsanteil $f_{10^{-4}}$	Massendefekt gegen Protonen und Neutronen TMF / MeV	Mittlere Mas- sen- zahl	11	12	13	14	15	
0	Neutron . . . . .	n	1	1	—	1.00895	0.022	89.5	± 0.22	—	—	—	—	—	—	
1	Wasserstoff . . . . .	H (D)	1 2	0 1	99.98 $10^{-5}$	1.008131 2.014726	0.0034 0.0066	81.31 73.63	± 0.034 ± 0.033	—	—	—	—	—	—	
2	Helium . . . . .	He	3 4	1 2	3.0170 ~100	4.003842	0.042	56.66 9.61	± 0.33 ± 0.11	8.2 7.6	30.3	28.2	34.4	32.0	39.2	
3	Lithium . . . . .	Li	6	3	7.9	6.01687	0.060	28.1	± 0.1	42.1	39.2	39.2	6.939	6.937	6.940	
4	Beryllium . . . . .	Be	7	4	92.1	7.01811	0.07	25.9	± 0.1	62.2	57.9	57.9	9.0151	9.0126	9.02	
5	Bor . . . . .	B	10 11	5 6	100 80	9.01505 10.01619 11.01290	0.11 0.13 0.11	16.72 16.19 11.73	± 0.12 ± 0.13 ± 0.1	64.4 69.2 81.5	75.8	75.8	10.814	10.81	10.82	
6	Kohlenstoff . . . . .	C	12	6	98.9	12.003892	0.029	3.243	± 0.024	98.6	91.8	91.8	12.015	12.012	12.010	
7	Stickstoff . . . . .	N	14 15	7 8	1.1 0.38	13.00758 14.007526 15.00494	0.056 0.015 0.07	5.83 5.376 3.293	± 0.043 ± 0.011 ± 0.047	103.9 112.0 123.6	96.7 104.3 115.1	96.7 104.3 115.1	14.011	14.007	14.008	
8	Sauerstoff . . . . .	O	16	8	99.76	16.—	Staudart 0	0.06	+ 2.647 + 2.72	± 0.035 ± 0.1	141.1 149.7	131.4 139.3	131.4 147.3	16.0044	16.0000	16.0000
9	Fluor . . . . .	F	19	10	90.00	19.998926	0.054	+ 2.353	± 0.074	158.2	147.3	147.3	19.0045	18.9993	19.00	
10	Neon . . . . .	Ne	20 21	10 11	0.27	20.99980	0.20	-0.537 -0.095	± 0.027 ± 0.095	171.9 180.0	160.0 167.5	160.0 167.5	20.196	20.191	20.183	
11	Natrium . . . . .	Na	22	12	9.73	21.99862	0.35	-0.63	± 0.16	190.1	177.0	177.0	—	—	—	
12	Magnesium . . . . .	Mg	24 25	12 13	77.4 11.5	23.9926 24.9941	0.30	-1.62	± 0.13	200.6	186.7	186.7	22.996	22.990	22.997	
			26	14	11.1	25.9899		-2.36 -3.88	—	212.4 219.8	197.7 204.6	197.7 24.330	24.323	24.32	24.32	

13	Aluminum . . . .	Al	27	14	100	26.9902	—3.63	240.8	224.2	26.990	26.983	26.97
14	Silicium . . . .	Si	28	14	89.6	27.9870	—4.64	252.1	234.7	28.133	28.125	28.06
			29	15	6.2	28.9865	—4.66	261.6	243.5			
			30	16	4.2	29.9854	—5.53	273.6	254.7			
15	Phosphor . . . .	P	31	16	100	30.9851	—4.81	280.1	260.8	30.985	30.977	30.98
16	Schwefel . . . .	S	32	16	95.1	31.9823	—5.53	291.0	270.9			
			33	17	0.74							
			34	18	4.2	33.9804	—5.76	310.8	289.4	32.065	32.065	32.06
17	Chlor . . . .	Cl	35	18	75.4	34.9805	—5.57	319	297	35.472	35.462	35.457
			37	20	24.6	36.9786	—5.78	339	315			
18	Argon . . . .	A	36	18	0.31	35.9791	0.75	—5.81	± 0.21	328	306	
			38	20	0.06			—6.113	± 0.034	367.7	342.3	39.926
19	Kalium . . . .	K	39	20	93.44	0.14						39.944
			40	21	0.012							
		β					{ (—6.0) }					
20	Calcium . . . .	Ca	40	20	96.96							
			42	22	0.64							
			43	23	0.15							
			44	24	2.07							
			46	26	0.003							
			48	28	0.185							
			48	28	0.185							
			100	24	100							
21	Scandium . . . .	Sc	45	24	7.95							
22	Titan . . . .	Ti	46	24	7.95							
			47	25	7.75							
			48	26	73.45	47.966	0.47					
			49	27	5.51	48.964	2.0	—7.35	± 0.41	446	415	47.90
			50	28	5.34	49.963	2.0	—7.4	± 0.4	457	425	
								(—7.4)		466	434	
23	Vanadium . . . .	V	51	28	100							
24	Chrom . . . .	Cr	50	26	4.49							
			52	28	83.78	51.959	0.9	—7.9	± 0.2	487	453	50.95
			53	29	9.43							
			54	30	2.30							
										52.051	52.00	52.01

Tafel I. Isotope und Atomgewichte der chemischen Elemente, soweit Ende 1939 bekannt (Fortsetzung).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Z.	Element	Symbol	Massezahl A	Neutronenzahl A-Z	Häufigkeit in %	Isotopen-ge wicht M $^{16}\text{O} = 16$	Fehler von M/TME	Packungsanteil f <sub>10<sup>-4</sup></sub>	(-7,3)	Massendefekt gegen Protonen und Neutronen TME MeV	Mittlere Massenzahl		Chemisches Atomgewicht für O = 16 berechn. aus Isotonenanzahlensetzung	int. Tabelle	
25	Mangan .....	Mn	55	30	100	53.960 55.961	2.7 2.3	$\frac{-7.4}{-7.0} \pm \frac{0.5}{0.4}$	502 519	$\frac{467}{483}$	55	54.94	54.93		
26	Eisen .....	Fe	54	28	6.0	91.6					55.907	55.85	55.84		
27	Kobalt .....	Co	56	30	2.1										
28	Nickel .....	Ni	57	31	0.28										
29	Kupfer .....	Cu	58	32	100	68.0									
30	Zink .....	Zn	59	30	68.0	59.959	2.8	$\frac{(-7.0)}{(-7.1)} \pm \frac{0.5}{0.5}$	555	517	59	58.94	58.94		
31	Gallium .....	Ca	60	32	27.2										
32	Germanium ...	Ge	61	33	0.1										
			62	34	3.8										
			63	34	0.9										
			64	36	32	62.956 64.955	1.3 1.3	$\frac{-6.9}{-6.9} \pm \frac{0.2}{0.2}$	584 603	$\frac{544}{561}$	59	58.70	58.69		
			65	36	32	62.956 64.955	1.3 1.3	$\frac{-6.9}{-6.9} \pm \frac{0.2}{0.2}$	584 603	$\frac{544}{561}$	59	58.70	58.69		
			66	34	50.9	63.956	3.2	$\frac{-6.8}{-7.3} \pm \frac{0.5}{0.5}$	592 614	$\frac{551}{572}$	59	58.70	58.69		
			67	36	27.3	65.952	3.3								
			68	37	3.9										
			69	38	17.4	67.956	3.5	$\frac{-6.5}{-6.5} \pm \frac{0.5}{0.5}$	628 648	$\frac{585}{603}$	65	58.70	58.69		
			70	40	0.5	69.954	3.7	$\frac{-6.5}{-6.6} \pm \frac{0.5}{0.5}$	628 648	$\frac{585}{603}$	65	58.70	58.69		
			71	38	61.5	68.955	3.5	$\frac{-6.5}{-6.6} \pm \frac{0.5}{0.5}$	637 657	$\frac{593}{612}$	65	58.70	58.69		
			72	40	38.5	70.953	3.6								
			73	41	21.2										
			74	42	27.3										
			75	42	7.9										
			76	44	37.1										
			77	44	6.5										
			78	45	1.7										
			79	45	0.1										
			80	46	0.1										
			81	46	0.1										
			82	47	0.1										
			83	47	0.1										
			84	48	0.1										
			85	48	0.1										
			86	49	0.1										
			87	49	0.1										
			88	50	0.1										
			89	50	0.1										
			90	51	0.1										
			91	51	0.1										
			92	52	0.1										
			93	52	0.1										
			94	53	0.1										
			95	53	0.1										
			96	54	0.1										
			97	54	0.1										
			98	55	0.1										
			99	55	0.1										
			100	56	0.1										
			101	56	0.1										
			102	57	0.1										
			103	57	0.1										
			104	58	0.1										
			105	58	0.1										
			106	59	0.1										
			107	59	0.1										
			108	60	0.1										
			109	60	0.1										
			110	61	0.1										
			111	61	0.1										
			112	62	0.1										
			113	62	0.1										
			114	63	0.1										
			115	63	0.1										
			116	64	0.1										
			117	64	0.1										
			118	65	0.1										
			119	65	0.1										
			120	66	0.1										
			121	66	0.1										
			122	67	0.1										
			123	67	0.1										
			124	68	0.1										
			125	68	0.1										
			126	69	0.1										
			127	69	0.1										
			128	70	0.1										
			129	70	0.1										
			130	71	0.1										
			131	71	0.1										
			132	72	0.1										
			133	72	0.1										
			134	73	0.1										
			135	73	0.1										
			136	74	0.1										
			137	74	0.1										
			138	75	0.1										
			139	75	0.1										
			140	76	0.1										
			141	76	0.1										
			142	77	0.1										
			143	77	0.1										
			144	78	0.1										
			145	78	0.1										
			146	79	0.1										
			147	79	0.1										
			148	80	0.1										
			149	80	0.1										
			150	81	0.1										
			151	81	0.1										
			152	82	0.1										
			153	82	0.1										
			154	83	0.1										
			155	83	0.1										
			156	84	0.1										
			157	84	0.1										
			158	85	0.1										
			159	85	0.1										
			160	86	0.1										
			161	86	0.1										
			162	87	0.1										
			163	87	0.1										
			164	88	0.1										
			165	88	0.1										
			166	89	0.1										
			167	89	0.1										
			168	90	0.1										
			169	90	0.1										
			170	91	0.1										
			171	91	0.1										
			172	92	0.1										
			173	92	0.1										
			174	93	0.1										
			175	93	0.1										
			176	94	0.1										
			177	94	0.1										
			178	95	0.1										
			179	95	0.1										
			180	96	0.1										
			181	96	0.1										
			182	97	0.1										
			183	97	0.1										
			184	98	0.1										
			185	98	0.1										
			186	99	0.1										
			187	99	0.1										
			188	100	0.1										
			189	100	0.1										
			190	101	0.1										
			191	101	0.1										
			192	102	0.1										
			193	102	0.1										
			194	103	0.1										
			195	103	0.1										
			196	104	0.1										
			197	104	0.1										
			198	105	0.1										
			199	105	0.1										
			200	106	0.1										
			201	106	0.1										
			202	107	0.1										
			203	107	0.1										
			204	108	0.1</										



Tafel I. Isotope und Atomgewichte der Elemente chemischen, soweit Ende 1939 bekannt (Fortsetzung).

Z.	Element	Sym- bol	Mas- sen- zahl A	Neu- tro- nen- zahl A-Z	Häufig- keit in %	Isotopen- ge wicht $^{16}\text{O} = 16$	Fehler von M TME	Packungsanteil $f_{10^{-4}}$	Massendefekt gegen Protonen und Neutronen TME   MeV	Mittlere Mas sen- zahl	Chemisches Atomgewicht für O = 16 berechnet aus Iso- prenzam- tensetzung	int. Tabelle		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
44	Ruthenium . . .	Ru	96	52	(5)	95.945	3.5	$-5.7 \pm 0.4$	878	817				
			98	54	(12)	98.944	3.6	$-5.7 \pm 0.4$	906	843	101.180	101.10	101.7	
			99	55	(14)									
			100	56	(22)									
			101	57	(30)									
			102	58	(17)									
			104	60										
45	Rhodium . . .	Rh	103	58	100			(-5.3)			103	102.92	102.91	
46	Palladium . . .	Pd	102	56	0.8									
			104	58	9.3	103.946	4.2	$-5.2 \pm 0.4$	947	882				
			105	59	22.6	104.945	4.3	$-5.2 \pm 0.4$	957	891	106.631	106.55	106.7	
			106	60	27.2	105.945	4.3	$-5.2 \pm 0.4$	966	899				
			108	62	26.8	107.943	4.3	$-5.2 \pm 0.4$	986	918				
			110	64	13.5	109.942	4.4	$-5.2 \pm 0.4$	1005	936				
47	Silber . . .	Ag	107	60	52.5	106.948	3.2	$-4.8 \pm 0.3$	971	904				
			109	62	47.5	108.947	3.3	$-4.8 \pm 0.3$	990	922	107.950	107.87	107.880	
48	Cadmium . . .	Cd	106	58	1.4									
			108	60	1.0									
			110	62	12.8									
			111	63	13.0									
			112	64	24.2									
			113	65	12.3									
			114	66	28.0									
			116	68	7.3									
49	Indium . . .	In	113	64	4.5								114.910	
			115	66	95.5								114.82	
								(-4.9)					114.76	



Tafel I. Isotope und Atomgewichte der chemischen Elemente, soweit Ende 1939 bekannt (Fortsetzung).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Z.	Element	Sym- bol	Mas- sen- zahl A	Neu- tro- nen- zahl $A-Z$	Häufig- keit in %	Isotopen- gewicht $M_{^{16}\text{O}} = 16$	Fehler von $M_{\text{TME}}$	Packungsanteil $f_{10^4}$	Massendefekt gegen Protonen	Mittlere Mas- sen- zahl	Chemisches Atomgewicht für O = 16 berechnet aus Isoto- penzusam- mensetzung Tabelle	int. Tabelle		
57	Lanthan . . . . .	La	139	82	100	138.955	5.6	$-3.2 \pm 0.4$	1242	1156	139	138.92	138.92	
	Cer . . . . .	Ce	136 138 140 142	78 80 82 84	seltenselten 89 11	{ }	(-3.5)			140.22	140.13	140.13	140.13	
59	Praseodym . . . . .	Pr	141	82	100	{ }		(-3.4)		141	140.91	140.92	140.92	
	Neodym . . . . .	Nd	142 143 144	82 83 84	25.95 13.0 22.6	{ }				144.402	144.32	144.32	144.32	
60			145	85	9.2	145.960	5.8	$-2.8 \pm 0.4$	1298	1208			144.27	
			146 148 150	86 88 90	16.5 6.8 5.95	147.961 149.967	4.2 6.0	$-2.7 \pm 0.3$ $-2.2 \pm 0.4$	1314 1326	1223 1235				
62	Samarium . . . . .	Sm	144	82	3	{ }								
			147 148 149 150 152 154	85 86 87 88 90 92	17 14 15 5 26	{ }	(-2.4)							
63	Europium . . . . .	Eu	151 153	88 90	51	49	{ }	(-2.2)		150.200	150.12	150.43	150.43	
	Gadolinium . . . . .	Gd	152 154 155 156	88 90 91 92	0.2 1.5 2.1 3.0	{ }				152.020	151.94	152.0	152.0	
64												157.005	156.94	156.9
												{ }		

157	93	17	156.976	3.2	$-1.5 \pm 0.2$			
158	94	22			(-1.4)			159.2
160	96	16			(-1.0)			
159	94	100			(-0.8)			
158	92	0.1			(-0.6)			
160	94	1.5			(-0.4)			
161	95	22			(-0.0)			
162	96	24			(-0.0)			
163	97	24			(-0.0)			
164	98	28			(-0.0)			
165	98	100			(-0.0)			
166	96	2			(-0.0)			
167	98	(35)			(-0.0)			
168	99	(24)			(-0.0)			
169	100	(29)			(-0.0)			
170	102	(10)			(-0.0)			
169	100	100			(-0.4)			
170	100	2			(-0.0)			
171	101	(9)			(-0.0)			
172	102	(23)			(-0.0)			
173	103	(17)			(-0.0)			
174	104	(37)			(-0.0)			
176	106	(12)			(-0.0)			
175	104	97.5			(+0.2)			
176	105	2.5			(+0.2)			
174	102	(0.3)			(+0.2)			
176	104	(5)			(+0.2)			
177	105	(19)			(+0.2)			
178	106	(28)			(+0.2)			
179	107	(18)			(+0.2)			
180	108	(30)			(+0.2)			
181	108	100			(+0.8)			
174	102	(0.3)			(+0.8)			
176	104	(5)			(+0.8)			
177	105	(19)			(+0.8)			
178	106	(28)			(+0.8)			
179	107	(18)			(+0.8)			
180	108	(30)			(+0.8)			
181	108	100			(+0.8)			

Tafel I. Isotope und Atomgewichte der chemischen Elemente, soweit Ende 1939 bekannt (Fortsetzung).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Z.	Element	Symbol	Massenzahl A	Neutronenzahl A-Z	Häufigkeit in %	Isotopen-gewicht M $^{16}\text{O} = 16$	Fehler von M TMF	Packungsanteil $f_{10^4}$	Mittlere Massen-zahl aus Protonen und Neutronen TME MeV	Mittlere Massen-zahl aus TMF MeV	Chemisches Atomgewicht für O = 16 berechn. aus isotopenzusammensetzung Tabelle			
74	Wolfram . . . .	W	180	106	0.2	(+1.0)	(+1.2)	(+1.6)	183.963	183.93	183.92			
75	Rhenium . . . .	Re	185	108	22.6									
			183	109	17.3									
			184	110	30.1									
			186	112	29.8									
			187	110	38.2									
				112	61.8									
76	Osmium . . . .	Os	184	108	0.018									
			186	110	1.59									
			187	111	1.64									
			188	112	13.3									
			189	113	16.2									
			190	114	26.4									
				116	40.9									
				192	192.038									
77	Iridium . . . .	Ir	191	114	38.5	191.040	10.2	+2.1 ± 0.5	1606	1495	190.25			
			193	116	61.5	193.041	10.3	+2.1 ± 0.5	1623	1511	193.1			
78	Platin . . . .	Pt	192	114	0.8	(192.05)	(11.2)	(+2.7 ± 0.6)	(1605)	(1494)	192.22			
			194	116	30.2	194.040	7.8	+2.0 ± 0.4	1632	1519	195.23			
			195	117	35.3	195.040	5.9	+2.0 ± 0.3	1641	1528	195.14			
			196	118	26.6	196.039	8.1	+2.0 ± 0.4	1651	1537				
			198	120	7.2	198.044	7.5	+2.2 ± 0.4	1664	1549				
79	Gold . . . .	Au	197	118	100	197.039	5.9	+2.0 ± 0.3	1659	1545	197			
80	Quecksilber . . .	Hg	196	116	0.15						196.99			
			198	118	10.12						197.2			
			199	119	17.04						200.61			
			200	120	23.25						200.613			



Tafel II.

Ausschließungsgrenzen von wahrscheinlich nicht vorhandenen Isotopen.

Ele- ment	A	max. Häufig- keit %	Lite- ratur	Ele- ment	A	max. Häufig- keit %	Lite- ratur
1 H	3	$10^{-10}$	<sup>43)</sup>	24 Cr	55	0.006	<sup>24)</sup>
2 He	5	0.0001	<sup>44)</sup>	25 Mn	53, 57	0.007	<sup>25)</sup>
3 Li	5	0.001	<sup>45)</sup>	26 Fe	52, 53 55	0.002 0.005	
4 Be	8	0.001	<sup>46)</sup>		59	0.013	<sup>24)</sup>
10 Ne	23	0.001	<sup>47)</sup>		60	0.003	
11 Na	20, 21 22, 24 25	0.002	<sup>48)</sup>	27 Co	57	0.17	<sup>25)</sup>
16 S	30, 35 31 37, 38	0.002 0.005 0.0005	<sup>21)</sup>	30 Zn	63 65 69	0.0013 0.0025 0.0017	<sup>49)</sup>
17 Cl	39	0.004	<sup>22)</sup>	33 As	71, 72 73, 77 78, 79	0.001	<sup>46)</sup>
18 A	37 39, 41 42	0.005 0.01 0.0003	<sup>40)</sup> <sup>21)</sup>	35 Br	74 76 73, 87 74, 86 75, 84	0.005 0.002 0.004 0.008	
19 K	42, 43	0.0006	<sup>50)</sup>		85 76	0.013 0.017	<sup>51)</sup>
20 Ca	38 39 41 45, 47 49, 50	0.0017 0.0025 0.0007 0.0005	<sup>21)</sup>		77, 83 78, 82 80 76, 77, 79 81, 88	0.03 0.25 0.05 0.0012	
22 Ti	42, 51 52, 53 43 44, 45 54	0.0007 0.007 0.0014 0.003	<sup>21)</sup>	36 Kr	87 80, 81 89, 90 83 84	0.0023 0.0007 0.0012 0.0060	<sup>46)</sup> <sup>49)</sup>
24 Cr	49, 51 56	0.001	<sup>24)</sup>		86 88	0.0056 0.0033	

<sup>43)</sup> R. Sherr, L. G. Smith u. W. Bleakney, Physic. Rev. **54**, 388 [1938].<sup>44)</sup> W. Bleakney, G. P. Harnwell, W. W. Lozier, P. T. Smith u. H. D. Smyth, Physic. Rev. **46**, 81 [1934].<sup>45)</sup> M. B. Sampson u. W. Bleakney, Physic. Rev. **50**, 456 [1936].<sup>46)</sup> A. O. Nier, Physic. Rev. **52**, 933 [1937].<sup>47)</sup> W. Bleakney, Physic. Rev. **48**, 1056 [1933].<sup>48)</sup> A. K. Brewer, Physic. Rev. **49**, 56 [1936].<sup>49)</sup> A. O. Nier, Physic. Rev. **50**, 1041 [1936].<sup>50)</sup> A. O. Nier, Physic. Rev. **48**, 283 [1935].

Tafel II.  
(Fortsetzung).

Ele- ment	A	max. Häufig- keit %	Lite- ratur	Ele- ment	A	max. Häufig- keit %	Lite- ratur
38 Sr	80, 81 82 83, 89 85 90, 91 92	0.0004 0.0008 0.0017 0.0003	29)	55 Cs	131 132 134 135	0.005 0.025 0.017 0.002	46)
39 Y	91	0.05	38)	56 Ba	128, 129 131, 133 140, 141 139	0.0007 0.002	29)
41 Nb	91, 95	0.25	26)		142	0.0004	
42 Mo	88—91 93, 99 102—105 101	0.02 0.03	27)	71 Cp	177	0.1	38)
45 Rh	101 105	0.08 0.10	25)	73 Ta	179	0.1	38)
48 Cd	107, 109 115 118	0.043 0.125 0.0068	49)	76 Os	182, 183 185 191 193 194	0.003 0.011 0.007 0.004	51)
49 In	110, 111 112, 116 117 114 118 119	0.01 0.02 0.5 0.012 0.003	46)	79 Au	199	0.01	52)
53 J	123, 124 125 126 128 129 130 131	0.002 0.004 0.007 0.0025 0.0008 0.0004		80 Hg	194, 195 197 203 205, 206	0.0015 0.0037 0.0006 0.0016	46)
54 X	122, 123 125 127 133, 135 137, 138	0.00045 0.0009 0.0018	46)	81 Tl	199—201 206—209 202, 204	0.002 0.003	29)
55 Cs	129, 130 136, 137	0.001	46)	82 Pb	203 205 209 210	0.002 0.01 0.0009 0.009	53)
				83 Bi	205—207 211—213 208, 210	0.001 0.002	29)
				92 U	231—233 236 237, 239 240—242	0.003 0.0083 0.0016	41)

<sup>51)</sup> A. O. Nier, Physic. Rev. **52**, 763 [1937].

<sup>52)</sup> A. J. Dempster, Proc. Am. Phil. Soc. **75**, 755 [1935]; Nature **136**, 65 [1935].

<sup>53)</sup> A. O. Nier, Physic. Rev. **51**, 1007 [1937].

<sup>54)</sup> G. P. Blewett, Physic. Rev. **49**, 900 [1936].

Packungsanteilkurve. Für die Massen  $< 40$  ist zwischen geraden und ungeraden Massen unterschieden. Die ausgezogene Kurve verbindet Punkte gerader Massen und zeigt am Anfang eine ausgesprochene, später abklingende Viertelperiode, entsprechend der Bildung eines neuen  $\alpha$ -Teilchens jeweils nach Anlagerung von zwei weiteren Protonen und Neutronen. Die strichpunktierte Kurve verbindet die Punkte ungerader Massen und verläuft im wesentlichen monoton.

Oberhalb  $A = 40$  ist nur noch eine Kurve gezeichnet. Die im Text diskutierte Ausbuchstaltung bei Kr (um  $A = 80$  herum) ist gestrichelt. — Bei einigen Differenzmessungen ist die Masse des einen Partners nicht anderweit bekannt und willkürlich auf die Kurve gelegt. Der daraus folgende Packungsanteil des anderen Partners ist dann durch ein Kreuzchen in die Figur eingetragen. Punkte dieser Art liegen vor allem um  $A = 180$  herum und sind im Text näher besprochen.

Von  $A = 206$  an aufwärts beginnen die natürlichen  $\alpha$ -Strahler, deren Packungsanteile relativ zueinander sehr genau bekannt sind. Die absolute Lage dieses Teils der Kurve ist etwa mit dem gleichen Fehler behaftet wie die für etwas kleinere Massenzahlen mit den Fehlergrenzen eingezzeichneten Meßpunkte.

