

O. Hahn, S. Flügge, J. Mattauach: Nachtrag 1940 und 1941 zu dem ausführlichen Bericht vom Januar 1940 „Die chemischen Elemente und natürlichen Atomarten nach dem Stande der Isotopen- und Kernforschung.“

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

(Eingegangen am 13. Dezember 1941.)

Auch in diesem Jahre sind keine großen Änderungen gegenüber dem letzten Bericht zu verzeichnen. Es sollen deshalb auch wieder nur einige Ergänzungen gebracht werden, so daß die Zahlen, die hier vorgelegt werden, zusammen mit denjenigen des Berichtes vom Januar 1940¹⁾ den gegenwärtigen Stand wiedergeben.

Neue Messungen liegen in der Berichtszeit vor bei den Elementen Kohlenstoff, Sauerstoff, Calcium, Eisen, Kobalt, Nickel, Ytterbium und Blei. Die Zahlen für das im Vorjahre bereits geänderte Molybdän sind im folgenden ebenfalls wiedergegeben. Ferner ist beim Tellur das Isotop mit der Massenzahl 120 und der Häufigkeitsangabe „selten“ nachzutragen, das infolge eines Schreibfehlers in unserer Tafel von 1939 ausgefallen war.

Kohlenstoff. Das Häufigkeitsverhältnis der beiden stabilen Isotope $^{12}\text{C}:^{13}\text{C}$ wurde von B. F. Murphy und A. O. Nier²⁾ an Kohlenstoff verschiedener Herkunft massenspektrometrisch untersucht und eine kleine Tafel der Ergebnisse angegeben. Die Zahlen schwanken zwischen 88.8 und 93.1. Aus sieben Proben meteorischer Herkunft werden Zahlen zwischen 89.8 und 92.0 abgeleitet; ihr Mittelwert liegt bei 91.3. Alle diese Werte sind innerhalb der Fehlergrenzen mit dem für die Tafel von 1939 verwendeten Wert 90 ± 2 von Nier und Gulbranson in Übereinstimmung; ihre Schwankung zeigt aufs neue, daß es keinen Sinn mehr hat, Atomgewichte genauer zu definieren, als es etwa diesen Fehlergrenzen entspricht. Aus den beiden Grenzwerten 88.8 und 93.1 würden sich die mittleren Massenzahlen 12.01114 und 12.01061 ergeben, die sich um 0.00053 Masseneinheiten unterscheiden. Die Genauigkeit der chemischen Atomgewichts-Bestimmung ist von der Erfassung solcher Abweichung zwar noch weit entfernt; immerhin dürfte der Hinweis auf diese grundsätzliche Schranke für die Genauigkeit der chemischen Atomgewichtsbestimmung, die im Wesen der Definition liegt, auch für die Chemiker von Interesse sein.

Sauerstoff. Die relativen Häufigkeiten der Isotope dieses Elements sind besonders wichtig, weil sie zur Beziehung der physikalischen und chemischen Massenskala auf einander gebraucht werden. Bisher war nur das Verhältnis der Isotope $^{16}\text{O}:^{18}\text{O}$ bekannt, wofür der Wert 503 ± 10 von Smythe als der zuverlässigste galt. Von dem seltenen Isotop ^{17}O wußte man nur aus älteren bandenspektroskopischen Schätzungen, daß es rund 5-mal seltener ist als ^{18}O . Eine neue Untersuchung von B. F. Murphy³⁾ im Massenspektrometer bestätigt wiederum den Wert von Smythe mit $^{16}\text{O}:^{18}\text{O} = 500 \pm 15$; darüber hinaus wird $^{18}\text{O}:^{17}\text{O} = 4.9 \pm 0.2$ gemessen. Der Umrechnungsfaktor der beiden Massenskalen bleibt danach praktisch unverändert; Murphy gibt mit vorsichtig abgeschätzten Fehlergrenzen 1.000275 ± 0.000009 an.

Eisen. G. E. Valley und H. H. Anderson⁴⁾ untersuchten Eisenproben irdischer und meteorischer Herkunft auf ihre Isotopenzusammensetzung im

¹⁾ B. (A) 73, 1 [1940].

²⁾ Physic. Rev. 59, 771 [1941].

³⁾ Physic. Rev. 59, 320 [1941].

⁴⁾ Physic. Rev. 59, 113 (abs. 41) [1941].

Massenspektrographen. Es zeigte sich jedoch kein merkbarer Unterschied, wie die folgende Zusammenstellung zeigt, bei der wir ihre Zahlen in prozentische Häufigkeiten umgerechnet haben:

Isotop	54	56	57	58	mittlere Massen- zahl	chem. Atom- gewicht
Irdische Probe	5.84 %	91.68 %	2.17 %	0.31 %	55.911	55.85
Meteorische Probe	5.80 %	91.77 %	2.13 %	0.30 %		
Tafel von 1939	6.0 %	91.6 %	2.1 %	0.28 %	55.907	55.85

Die Zahlen weichen so wenig von denen der Tafel für 1939 ab, daß keine Änderung des Atomgewichts eintritt. Der chemische Wert ist nach der Internationalen Tafel für 1940 ebenfalls 55.85.

Kobalt. J. J. Mitchell, H. S. Brown und R. D. Fowler⁵⁾ suchten im Massenspektrographen nach dem Isotop ^{57}Co und stellten fest, daß es, wenn überhaupt, höchstens im Verhältnis 1:30000 neben ^{59}Co vorkommt. Dieser Befund bestätigt aufs neue unsere bereits in der Tafel von 1939 zum Ausdruck gebrachte Ansicht, daß Kobalt nur ein einziges stabiles Isotop der Massenzahl 59 besitzt.

Nickel. Die relativen Häufigkeiten der Nickelisotope wurden in zwei unabhängigen Arbeiten gleichzeitig von H. A. Straus⁶⁾ und G. E. Valley⁷⁾ massenspektrometrisch neu gemessen. Im folgenden sind ihre Ergebnisse und die daraus berechneten mittleren Massenzahlen und Atomgewichte für einen Packungsanteil von $-7.0^8)$ sowie zum Vergleich die in unserer Tafel von 1939 angegebenen Werte zusammengestellt:

Isotop	58	60	61	62	64	mittlere Massen- zahl	chem. Atom- gewicht
Straus	62.8 %	29.5 %	1.7 %	4.7 %	1.3 %	58.907	55.85
Valley	67.4 %	26.7 %	1.2 %	3.8 %	0.88 %	58.778	58.72
Tafel von 1939	68.0 %	27.2 %	0.1 %	3.8 %	0.9 %	58.753	58.70

Die beiden Neumessungen geben übereinstimmend das Verhältnis $^{61}\text{Ni}:^{64}\text{Ni}$ mit etwa 1.3 an, in ungefährender Übereinstimmung mit einer älteren Schätzung von Dempster, dagegen im Widerspruch zu der für die Tafel von 1939 benutzten Zahl 0.1 von Lub. Im übrigen stimmen die neuen Werte von Valley recht genau mit den früher von uns für die relativen Häufigkeiten eingesetzten Zahlen überein, und auch das daraus berechnete chemische Atomgewicht paßt gut zu dem Wert 58.69 der Internationalen Tafel von 1940, während die Messungen von Straus nicht unbedeutende Abweichungen ergeben. Die letzteren wurden jedoch mit einer neuen, alle Fehler möglichst ausschließenden Nullmethode gemacht, so daß man zur Aufklärung des Widerspruches wohl weitere Messungen abwarten müssen.

⁵⁾ Physic. Rev. **60**, 359 [1941].

⁶⁾ Physic. Rev. **59**, 102, 430 [1941].

⁷⁾ Physic. Rev. **59**, 836 [1941].

⁸⁾ Dieser Wert wurde der Packungsanteilkurve unseres Berichtes für 1939 entnommen und trotz neuerer massenspektrographischer Messungen von T. Okuda, K. Ogata, H. Kuroda, S. Shima u. S. Shindo, Physic. Rev. **59**, 104 [1941], beibehalten. Für eine Begründung dafür siehe den Bericht von S. Flüge und J. Mattauch, Physik. Ztschr. **43**, 1 [1942].

Molybdän. Hier wurden bereits im Vorjahre die neuen Werte von G. E. Valley⁹⁾ mitgeteilt:

Isotop	92	94	95	96	97	98	100
Relative Häufigkeit ...	14.9%	9.40%	16.1%	16.6%	9.65%	24.1%	9.25%

Hieraus folgt eine mittlere Massenzahl von 96.004 und mit dem Wert von -5.7 ± 0.4 für den Packungsanteil ein chemisches Atomgewicht von 95.92 ± 0.01 . Die Internationale Tafel für 1940 gibt hierfür den Wert 95.95.

Wie H. Lichtblau und J. Mattauch¹⁰⁾ zeigen konnten, stimmen ihre früheren photographischen Messungen, die mit der für Kanalstrahlen bisher allgemein angenommenen Gültigkeit des I.t-Gesetzes die Zahlen unserer Tafel von 1939 ergeben hatten, sehr gut mit den elektrometrischen Messungen Valleys überein, wenn man annimmt, daß für die verwendete Plattensorte auch für Kanalstrahlen das Schwarzschildsche Gesetz $I \cdot t^p = \text{const.}$ gilt, wie dies ja für Lichtstrahlen allgemein der Fall ist.

Ytterbium. Eine massenspektrographische Bestimmung der Häufigkeiten bei diesem Element wurde von W. Wahl¹¹⁾ vorgenommen. Es lagen hier bisher hauptsächlich die geschätzten Werte von Aston vor, daneben eine Angabe über die Häufigkeit der beiden seltenen Isotope 168 und 170 von Dempster und eine auf Grund der Hyperfeinstruktur von Schüller, Roig und Korsching durchgeführte Bestimmung des Häufigkeitsverhältnisses $^{173}\text{Yb} : ^{171}\text{Yb} = 1.14$, die einstweilen in unsere Tafel noch nicht aufgenommen war. Die neuen Werte von Wahl, die als die bisher zuverlässigsten anzusehen sind, zeigen eine Reihe von Abweichungen von den früheren Ergebnissen Astons und Dempsters, bestätigen aber sehr genau den Schüllerschen Wert ($^{173}\text{Yb} : ^{171}\text{Yb} = 1.15$). Im einzelnen ergeben sich die Zahlen:

Isotop	168	170	171	172	173	174	176	mittlere Massen- zahl
Wahl	(0.06%)	4.21%	14.26%	21.49%	17.02%	29.58%	13.38%	173.068
Tafel von 1939:	0.06%	2%	(9%)	(23%)	(17%)	(37%)	(12%)	173.197

Während wir in der Tafel von 1939 noch ein Atomgewicht von 173.15 berechneten, erniedrigt sich der Wert nach den Angaben von Wahl auf 173.02 ± 0.006 , was sich in viel besserer Übereinstimmung mit dem chemischen Wert von 173.04 befindet. Allerdings ergab eine Neubestimmung von O. Höning Schmid und F. Hirschbold-Wittner¹²⁾ den offenbar sehr zuverlässigen Wert 173.104 ± 0.016 für das chemische Atomgewicht.

Blei. Von Nier und Mitarbeitern¹³⁾ wurde erneut eine größere Zahl von Bleimineralien untersucht, um weiteres Material für die charakteristischen Abweichungen zwischen radiogenem Blei und solchem anderer Herkunft zu sammeln. Das Ziel der Arbeit ist eine genauere Altersbestimmung von Mineralien; ihr kommt daher ein mehr geologisches Interesse zu, so daß sich ein näheres Eingehen darauf an dieser Stelle erübrigt.

⁹⁾ Physic. Rev. **57**, 945 [1940].

¹⁰⁾ Ztschr. Physik. **117**, 502 [1941].

¹¹⁾ Naturwiss. **29**, 536 [1941].

¹²⁾ Ztschr. anorgan. allgem. Chemie **248**, 72 [1941].

¹³⁾ A. O. Nier, R. W. Thompson u. B. F. Murphy, Physic. Rev. **60**, 112 [1941].