

Zeitschrift: Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen = Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie
Band: 28 (1948)
Heft: 1: Festschrift P. Niggli zu seinem 60. Geburtstag den 26. Juni 1948

Artikel: Atomhäufigkeit und Strukturperioden im Kernbau
Autor: Sonder, Richard A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-23061>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 13.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Atomhäufigkeit und Strukturperioden im Kernbau

Von *Richard A. Sonder*, Oberrieden (Schweiz)

Bemerkungen zur Tafelbeigabe

Die ersten Feststellungen, dass die Atomhäufigkeit gewissen Gesetzmässigkeiten unterworfen ist, machte *ODDO* (1914) unmittelbar gefolgt von *HARKINS* (1915). Während die ersten beiden Autoren sich hauptsächlich mit der Feststellung beschäftigten, dass Elemente mit gerader Atomziffer häufiger sind als ihre Nachbarn mit ungerader Atomziffer, wies *NIGGLI* (1920) an Hand der Häufigkeit der verbreitetsten Elemente der Erdkruste nach, dass in einer graphischen Darstellung der Elemente 1—32 bei O 8, Si 14, Ca 20 und Fe 26 Häufigkeitsmaxima auftreten, welche durch die konstante Differenz 6 voneinander getrennt sind (siehe Fig. 1).

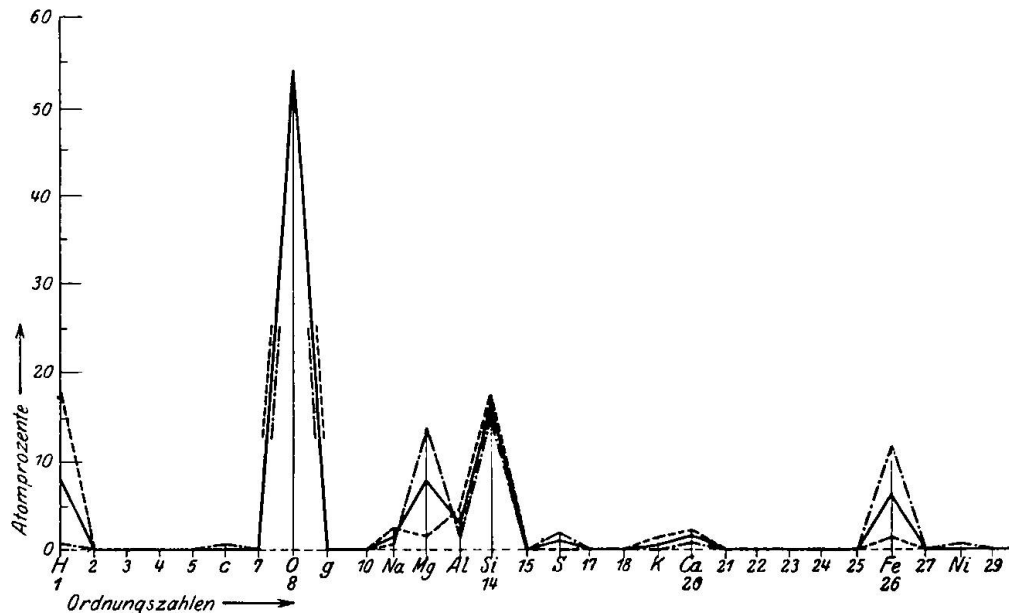


Fig. 1. Absolute Atomhäufigkeit der Elemente 1—29. Die restlichen Elemente sind so selten, dass sie in dieser Art der Darstellung nicht mehr zur Geltung kommen. (Gestrichelt Erdkruste, strichpunktiert Steinmeteoriten, ausgezogen Mittelwerte)

Mir selber fiel später auf (SONDER 1923), dass auch in den Atomgewichten gesetzmässige Zusammenhänge enthalten sind, welche sich mit den Häufigkeitsregeln in Beziehung setzen liessen. Dies führte zu einem Versuch, die Atomkernhäufigkeit aus strukturellen Packungsgesetzmässigkeiten zu erklären. Das Resultat war überraschend. Sobald man annahm, dass die komplexeren Atomkerne aus Subgruppen von Deuteronen und Neutronen bestanden, konnte gezeigt werden, dass an Hand eines solchen Atomkernmodells alle damals bekannten Eigentümlichkeiten der Atomhäufigkeit, sowie der Isotopen Variation erklärt werden konnten. Deuteronen und Neutronen waren allerdings noch nicht bekannt und wurden demnach in der zitierten Arbeit anders benannt. In den Hauptergebnissen griff die Strukturtheorie ausserdem weit über die damaligen Kenntnisse hinaus, indem sie ein eigentliches periodisches System für die Atomhäufigkeit postulierte, von welchem die NIGGLI'sche Periode nur die Anfangsglieder wiedergab. Untersuchte man damals die existierenden Häufigkeitsschätzungen der selteneren Elemente, so ergab sich ein ziemlich wildes Auf und Ab, sodass die Behauptung, es sei darin ein periodisches System enthalten, reichlich gewagt erscheinen musste. Über die Häufigkeit der Isotopen war überhaupt fast nichts bekannt.

Seither haben Geochemie und chemische Meteoritenkunde gewaltige Fortschritte gemacht. Es zeigte sich sehr bald, dass weitgehende Korrekturen der älteren Häufigkeitsschätzungen nötig wurden. Schon 1928 konnte NIGGLI an Hand besserer Daten meine Annahme bestätigen, dass auch für die selteneren Elemente das sechser Zahlenschema tatsächlich seine Berechtigung haben dürfte. Ähnliche Betrachtungen und neue Schätzungskorrekturen enthielt meine Arbeit von 1930. Einen weiteren Fortschritt brachte die Publikation der umfangreichen Analysenresultate von I. und W. NODDACK (1930), welche den periodischen Charakter der Häufigkeitsfluktuationen als Funktion der Atomziffer vollauf bestätigten. Es erübrigt sich, hier auf die vielen weiteren Publikationen von Analyseergebnissen einzutreten, da V. M. GOLDSCHMIDT 1938 darüber eine umfassende Zusammenstellung veröffentlicht hat. Auch dieser Autor bestätigt die Existenz von periodischen Gesetzmässigkeiten, welche in diesem Zahlenmaterial enthalten sind. Die Forschung nach der quantitativen Verbreitung der einzelnen Isotopenarten ist heute weitgehend abgeschlossen (ASTON 1942).

Es scheint deshalb gerechtfertigt, bei Anlass dieser Festschrift eine neue Tabelle der natürlichen mittleren Atomhäufigkeit zu publi-

zieren, da Zusammenstellungen über die Atomhäufigkeit allein in den Meteoriten oder allein in der Erdkruste, wie sie z. B. bei GOLDSCHMIDT angeführt sind, gewisse Verzerrungen enthalten müssen. Differenzen betreffs der Häufigkeitsbewertung der einzelnen Elemente können sowohl chemisch-analytische Gründe haben, wie auch Gründe mit spekulativerem Einschlag. Es ist zu hoffen, dass die chemisch-analytischen Diskrepanzen, welche heute noch für viele seltenere Elemente innerhalb eines gewissen Rahmens auftreten, in Zukunft weiter eingeengt werden. Sobald die relative Häufigkeit von zwei Elementen einigermaßen gleich wird, ist es schwer, sie in einen genauen Häufigkeitsrang einzustufen. Theoretisch interessant ist z. B. der Fall von Sr und Zr. Während nach der zitierten sechser Periode Sr etwas häufiger sein sollte als Zr, haben Analysen im allgemeinen eher ein Überwiegen von Zr ergeben, sobald man auf Direktanalysen abstellt. Sucht man dagegen die Häufigkeit von Sr an Hand des Verhältnisses 0,5:100 für Sr:Ca nach NOLL zu ermitteln, so erhält man ein leichtes Überwiegen von Sr gegen Zr, wie es beispielsweise in der nachfolgenden Darstellung angenommen wurde. Solche Unsicherheiten chemisch analytischer Natur existieren noch bei manchen andern selteneren Elementen.

Vorläufig und vielleicht auch für eine weitere Zukunft ist es nicht möglich, ohne unkontrollierbare spekulative Annahmen eine Berechnungsmethode über die Rekonstruktion der kosmischen Urmischung aufzustellen. Wir kennen 4 kosmische Hauptdifferentiate der Materie, nämlich:

1. Die Siderosphäre, repräsentiert durch die Eisenmeteoriten.
2. Die schwere Lithosphäre, repräsentiert durch die Steinmeteoriten.
3. Die leichte Lithosphäre, repräsentiert durch die Erdkruste, resp. die Plateaubasalte.
4. Die Atmosphäre (auf der Erde in ihrer ursprünglichen Mischung abgewandert).

Wir wissen, dass von diesen Mischungen vermutlich die Steinmeteoriten noch am ehesten der Urmischung nahekommen, dass aber daraus gewisse Bestandteile stark in die andern Sphären abgewandert sein können. Es hat kaum einen Zweck, tiefgründige Betrachtungen über die mögliche Urmischung anzustellen, die wir doch nicht kontrollieren können. Man kann nur versuchen, ein formelles Mischungsverhältnis einfacher Natur festzulegen, das einigermaßen der natürlichen „Urmischung“ entsprechen könnte. Wahrscheinlich wird man dem steinmeteoriden Differentiate soviel „Erdkruste“ zu-

mischen müssen, dass die typisch periphilen Elemente der Lithosphäre, wie Alkalien und Erdalkalien, in der Gesamtkurve der Elementhäufigkeit eine einigermaßen normale Stellung einnehmen. Die Bewertung des Eisenmeteoritenanteils ist weniger leicht kontrollierbar, aber auch weniger entscheidend, da dadurch hauptsächlich die Bedeutung des Eisenmaximums und einiger Metalle nach oben oder unten verschoben wird. Was endlich den atmophilen Anteil der Mischung anbelangt, so kann man denselben überhaupt nur interpolieren. Man kann z. B., wie ich es 1930 getan habe, den Anteil der Edelgase aus der relativen Bedeutung der Nachbarelemente schätzen. Vielleicht kann man auch die Spektraluntersuchungen der Sonnenatmosphäre beiziehen, wenn die Methoden dieser Analyse noch sicherer geworden sind.

In der nachstehenden Zusammenstellung wurde weitgehend auf die Analysenzusammenstellung von GOLDSCHMIDT Rücksicht genommen, was die Zusammensetzung der einzelnen Differentiate an selteneren Elementen anbelangt. Die häufigeren Elemente wurden nach den bekannten Mittelwerten berechnet (NIGGLI). In bezug auf Steinmeteoriten sei auch auf die neuere Zusammenstellung von BROWN und PATTERSON (1947) verwiesen. Als Mischungsverhältnis wurde angenommen 1 Teil Eisenmeteoriten*), 1 Teil Erdkruste (resp. Plateaubasalt, NIGGLI 1928) und 5 Teile Steinmeteoriten mit darin vorhandenem freien Eisen. Soweit die so erhaltenen Resultate noch einer atmophilen Korrektur bedurften, wurde eine solche vorgenommen. Es wurde dabei vermutet, dass auch Elemente wie O, F, Hg, ja sogar Se und Te mit korrekturbedürftig seien. Natürlich ist es besonders schwer für atmophile Elemente wie H und He, ja vielleicht auch noch für O usw. eine solche Korrektur zu geben. Würde man z. B. auf die bisherigen Ergebnisse der Spektralanalyse von Sonne und Sterne abstellen, so könnte man die Zahlen für H und He usw. noch viel höher ansetzen, als es in der Tabelle geschehen ist. Es fragt sich aber, ob in diesen Sternatmosphären die leichten Elemente nicht besonders angereichert sind. Auch für U und Th kommt eine Korrektur in Frage, welche in ihren Details wiederum zweifelhaft ist. Es muss das Alter von Erde und Meteoriten bei den radioaktiven Elementen berücksichtigt werden. Es bestehen also so mancherlei Quellen zu spekulativer Variation einiger Werte bei der Festlegung der „kosmischen“ Häufigkeitszahlen. Es ist nicht möglich, irgend eine Darstellung zu geben, von der wir sagen könnten, sie sei abso-

*) Siehe jedoch Fussnote Seite 532.

lut richtig. Man erkennt aber, dass alle diese spekulativen Variationsmöglichkeiten nicht in der Lage sind, den Grundcharakter der Häufigkeitsverhältnisse und die darin enthaltenen periodischen Gesetzmässigkeiten wesentlich zu ändern, weil die absoluten Häufigkeitsfluktuationen viel zu gross sind. Es ist deshalb richtig, die Häufigkeitszahlen in auf- oder abgerundeten Werten anzuführen, wie dies in der beigelegten Tabelle geschehen ist und nicht mit mehreren Dezimalen, welche nur eine nicht existierende Genauigkeit vortäuschen könnten.

Die Darstellung der Atomkernhäufigkeit bedarf dreier Häufigkeitszahlen wie folgt:

a) Die Elementhäufigkeitszahl Q_e gibt die relative atomare Häufigkeit der Elemente wieder. Als Bezugselemente wählt man zweckmässig Fe und Si. Gemäss der gewählten Formel ergibt sich praktisch eine gleich grosse atomare Häufigkeit von Si und Fe, welche somit als gleich zu je 1 000 000 angenommen wurde¹⁾. Die seltensten Elemente haben dann eine atomare Häufigkeit von 0,1 bis 1. In der graphischen Darstellung der Abhängigkeit der Häufigkeit von der Atomziffer Z (Kurve I der Tabelle) muss der Logarithmus der Häufigkeitszahl aufgezeichnet werden, angesichts der starken Häufigkeitsvariation. Man erkennt deutlich ein periodisches An- und Absteigen der Kurve, welches sich der Fluktuation von gerader zu ungerader Atomziffer überlagert. Die Fluktuationen von Element zu Element werden mit steigender Ordnungszahl immer kleiner. In der Regel ist bei Nachbarn das Element mit ungerader Atomziffer immer seltener als dasjenige mit gerader Atomziffer. Die Häufigkeitsvariation von Element zu Element ändert auch innerhalb der Perioden etwas. Diese Variation ist nämlich in der Regel bei und unmittelbar nach den Maxima am grössten. Auffällig ist auch, dass oft das 5. Element einer Periode besonders selten ist oder sogar fehlt (Nr. 43 und 61).

¹⁾ Dies trifft allerdings nicht zu, wenn man, wie es oft geschieht, die Steinmeteoriten unter Elimination des metallischen Eisens analysiert. In diesem Falle würde Si häufiger als Fe nach der angegebenen Formel. Wenn man somit formell an der Relation festhält, dass Fe gleich häufig werden soll wie Si, gemäss Definition, so bedeutet dies, dass man in der Mischungsformel soviel eisenmeteoride Materie zugibt, dass Fe gleich Si wird. Bei eisenfreiem Meteoritenmittel für Steine wäre die Formel eher 1 Teil Plateaubasalt + 5 Teile Steinmeteoriten + 2 Teile Eisenmeteoriten.

b) Die Isotopenhäufigkeitszahl Q_i gibt die relative atomare Häufigkeit der einzelnen Isotopen in einem natürlichen Isotopengemisch des betreffenden Elementes von total 10 000 Einheiten wieder. Diese Zahl wurde gewählt, weil sie ungefähr der Bestimmungsgenauigkeit für die seltensten Isotopen nach heutigen Erfahrungen entspricht. Bei Bedarf könnte natürlich auch ein grösseres Einheitsgemisch gewählt werden. Um die Eigentümlichkeiten der Isotopenverbreitung graphisch zu verdeutlichen, wurden unterhalb der Häufigkeitskurve die Positionen der einzelnen Isotopen aufgezeichnet nach der Methode der Isotopenziffer. Man erhält die Isotopenziffer N gemäss der Formel $N = A - 2Z$, wobei A das Atomgewicht und Z die Atomziffer bedeutet. So erhält man für jedes Isotop in der Darstellung ein Feld.

Die gewählten Feldsymbole wollen durch mehr oder weniger starke Füllung (siehe Skala) die relative Häufigkeit der verschiedenen Isotopen versinnbildlichen, so dass man sofort sehen kann, welches die Hauptisotopen sind. Würde man statt dieser Signatur in die Quadrate die Isotopen Häufigkeitszahlen eintragen, so lassen sich die Gesetzmässigkeiten, welche in diesen Isotopenziffern enthalten sind, auch numerisch verfolgen.

Addiert man z. B. die Isotopenhäufigkeitszahlen pro horizontale Kolonnen und zeichnet die Summe graphisch in einer Kurve auf (Kurve II), so ergeben sich für gewisse Niveaus Maxima. Ordnet man die ungeraden Maxima gemäss den Pfeilen den geraden Nachbarmaxima zu, so findet man für die in erster Linie bevorzugten Isotopenziffern N die Werte 0-4-12-24-40. Es handelt sich um eine gesetzmässige geometrische Reihe, indem die Differenzen zwischen den Gliedern wie folgt sich aufbauen: 1.4, 2.4, 3.4, 4.4, ... Daneben gibt es noch andere, weniger ausgeprägte Niveaus (siehe Skala rechts). Auch in diagonaler Richtung, welche durch die gestrichelten Geraden mit dem Symbol z markiert ist, erkennt man deutlich bevorzugte Häufigkeitsrichtungen. Um diese Eigentümlichkeit numerisch zu erfassen, wurden in dieser Richtung wiederum die Summen der Isotopenhäufigkeitszahlen gebildet und in Kurve III aufgezeichnet.

Offensichtlich bestimmen nun diese Gesetzmässigkeiten wiederum in einem gewissen Sinne die absolute Atomhäufigkeit. Stellt man nämlich die Isotopen fest, welche in den Schnittpunkten der z -Achsen mit den bevorzugten Niveaus der Isotopenziffer liegen, so sind es jeweils die Hauptisotopen von Elementen, welche ihrerseits in der Atomhäufigkeitskurve als besonders häufige Elemente, ja

Maxima erscheinen. Dadurch wird eine Verbindung geschaffen zwischen Elementhäufigkeit und Isotopenhäufigkeit.

Der typisch treppenartige Anstieg der isotonen Variation kann noch deutlicher gemacht werden, wenn man für die verschiedenen Kernspezies mit Rücksicht auf Geradzahligkeit resp. Ungeradzahligkeit der Kernbausteine verschiedene Symbole anwendet. In der Tabelle wurden durch Symbole 4 Gruppen a, b, c und d ausgeschieden. Die grösste vertikale Variation weisen jeweils Kerntypen auf, bei denen sowohl Z wie N und damit auch $Z + N$ gerade ist. $\frac{3}{5}$ aller natürlichen Kernspezies gehören diesem Typus a an (quadratisches Symbol). Ca. $\frac{1}{5}$ der Kerntypen haben ungerades Z und ungerades N , dafür aber eine gerade Summe $Z + N$. Es ist dies die Gruppe b der Tabelle (Kreissymbol). Der restliche Fünftel der Kerntypen gehört einer Kombinationsgruppe c an, bei der Z gerade ist, N und somit $Z + N$ aber ungerade. Die letzte Möglichkeit nämlich, dass N eine gerade Zahl ist, Z sowie $Z + N$ ungerade, scheint keine stabilen Kerntypen zu ermöglichen. Man kennt nur zwei radioaktive natürliche Kerntypen dieser Art nämlich $K 40$ und $Lu 176$. Ihr Symbol wurde ähnlich wie das Symbol der Gruppe c gewählt (Kreis mit Kreuz). Für die Periode 1—7 hat vorstehende Klassifikation anscheinend weniger Bedeutung. Deshalb zeigt die Tafel bei diesen Elementen teilweise etwas andere Symbole.

Verfolgt man den Anstieg der b-Typen auf der Tabelle unter gleichzeitiger Berücksichtigung der auftretenden c-Typen, so kann man den Aufstieg der dadurch festgelegten Isotopenziffern mittelst einer Achse versinnbildlichen, welche offensichtlich dem Schwergewicht der isotonen Variation folgt. Diese Isotopenachse zeigt einen deutlich treppenartigen Anstieg. An gewissen Stellen sind Abzweigungen und Verdoppelungen beobachtbar. Studiert man die Details dieser Erscheinung auf den verschiedenen Stufen, so lassen sich wiederum gesetzmässige Details festlegen, worauf ich hier nicht weiter eintreten will. Die Isotopenhäufigkeitszahlen sind so nach ganz bestimmten Gesetzmässigkeiten aufgebaut.

c) Die absolute Häufigkeitszahl oder Kernhäufigkeit Q_n erhält man durch die Multiplikation von Atomhäufigkeit mit Isotopenhäufigkeit $Q_n = Q_e \cdot Q_i$. Man erkennt in der entsprechenden Kolonne der Tabelle, dass zwischen den seltensten und häufigsten stabilen Kerntypen sich annähernd ein Häufigkeitsverhältnis von $1:10^{12}$ ergibt.

Ich komme nun noch kurz auf die Deutung der periodischen Funktionen der Atomhäufigkeitszahlen zu sprechen. Es ist klar, dass die Kernhäufigkeit und somit die dargestellten periodischen Funktionen nichts anderes wiedergeben als ein Schema der Kernreaktivität, ähnlich wie das natürliche periodische System der chemischen Elemente uns über die Reaktivität der äusseren Elektronenschalen der Atome unterrichtet. Die herrschende Atomtheorie hat sich bisher kaum mit der Deutung dieser periodischen Funktionen der Atomhäufigkeit abgegeben und dieselben wenig beachtet.

Es ist heute aber an Hand der bekannten Analysenresultate eindeutig abgeklärt, dass die Grundprinzipien der Atomkernhäufigkeit sich exakt mit den Erfordernissen einer Häufigkeitstheorie decken, welche einen geordneten Packungsverband der Kernbausteine im engen Raum des „Kerntropfens“ annimmt (siehe SONDER 1923, 1932). Die Grundgedanken dieser strukturellen Häufigkeitslehre der Kernarten lassen sich wie folgt zusammenfassen und strukturtheoretisch begründen:

1. Die Grundperiodizität der Elementhäufigkeit ab $Z = 8$ (Kurve I) ist eine Strukturperiodizität des zentralsten Kerngebäudes, bestehend aus nucleonen Deuteronen, deren Zahl der Atomziffer Z entspricht.

2. Das treppenartige Ansteigen der Isotopenziffer ist die Strukturperiode eines Kernmantels, bestehend aus nucleonen Neutronen, deren Zahl der Isotopenziffer N entspricht. Zu jeder vollständigen Strukturperiode des Innengebäudes aus Deuteronen gehört eine Strukturperiode des entsprechend vergrösserten Aussenmantels aus Neutronen.

3. Das Auftreten von z -Achsen im Schema der isotopen Variation erklärt sich als eine symmetrische Kompensationswirkung zwischen nucleonen Deuteronen und Neutronen in den Aussensphären des Kerns. Längs diesen Achsen ist die Summe $Z + N$ konstant.

Die Beziehungen zwischen Kernsymmetrie, Kernreaktivität und Kernhäufigkeit werden wie folgt gedeutet: in einem reagierenden Kerngemisch muss eine Kernspezies umso häufiger werden, je reaktionsträger sie ist. Je geringer die Kernreaktivität, desto geringer die Möglichkeit einer Transmutation, je grösser die Reaktivität, desto grösser diese Chance. Also müssen schlussendlich die reaktionsträgeren Kerne häufiger werden und zwar in Proportion zur bestehenden Reaktionsträgheit. Von der Reaktivität wird angenommen, dass sie neben andern möglichen Faktoren stark von der relativen Ausgeglichenheit der Kernstruktur resp. der Kernoberfläche abhängen wird. Diese Ausgeglichenheit dürfte weitgehend eine Fünk-

tion der Kernsymmetrie sein. Je höher die mögliche oberflächliche und interne Bausymmetrie, desto grösser die Reaktionsträgheit des betreffenden Kernes, desto häufiger also der betreffende Atomkern. Die häufigen Atomkerne der Maxima der Kurve I nehmen also im Perdiogenschema der transmutiven Reaktivität gewissermassen die gleichen Stellen ein wie die Edelgastypen im natürlichen System der Elemente (edle Kerne).

Es ergibt sich somit ein einfacher und logischer Zusammenhang zwischen Kernhäufigkeit und möglicher interner Bausymmetrie der Atomkerne, welcher auf alle Fälle auch untersucht werden sollte, wenn man Betrachtungen anstellt über die mögliche Kernstruktur. Es ist relativ einfach, die Möglichkeit zu prüfen, ob die Atomhäufigkeit von einer solchen Bausymmetrie abhängen könnte oder nicht. Nach den dem Kristallographen wohlvertrauten Raumgesetzen ergeben sich je nach dem Charakter der zusammentretenden Bausteine im Falle von so geregelten Packungen von vorneherein bestimmte, zahlenmässig festgelegte Strukturperioden, welche von optimaler zu optimaler Symmetrie führen und welche Unterperioden von geringerer Symmetrie enthalten können. Es müssten also bei einer solchen Abhängigkeit gerade solche Häufigkeitsgraduationen auftreten, wie man sie in der graphischen Darstellung der Elemente und Isotopenhäufigkeit beobachten kann (siehe Tafel). Der Beweis, dass die Atomkerne ein „kristallographisches Moment“ enthalten könnten, muss nun offenbar darin liegen, ob gezeigt werden kann, dass die analytisch bestimmten Häufigkeitskurven der Tabelle genau den Symmetriefluktuationskurven eines solchen rein abstrakt rekonstruierbaren Packungsmodells folgen. Das heute vorliegende schon recht eindeutige und weitläufige Resultat der Häufigkeitsforschung erweist die Richtigkeit der Häufigkeitsvoraussagungen und Festlegung von Kernperiodizitäten, welche ich an Hand solcher Strukturüberlegung schon 1923 und 1930 gemacht habe. Die Übereinstimmung zwischen Kernhäufigkeitsfluktuationskurven und den Symmetriefluktuationskurven der damals vermuteten Packungsordnung sind heute, soweit solche Parallelitäten überhaupt gegenseitig abgewogen werden können, sehr weitgehend und vollkommen bestätigt worden.

Es wäre einigermassen unwahrscheinlich, hierin eine rein zufällige Koinzidenz zu sehen, da es ja nicht weniger als 284 natürliche Kernarten gibt, von welchen wir heute die ungefähren Häufigkeiten meist in guter Annäherung kennen. Ich glaube, dass damit ein ziemlich konkreter Beweis geliefert ist, dass das Problem des Atom- und speziell des Atomkernbaues ein fruchtbares Thema auch für die

den Kristallographen gewohnten strukturellen Gedankengänge sein dürfte. Sicher ist eine solche Packungstheorie keine vollständige Atomtheorie, indem sie die energetische Seite der Kernphysik offen lässt. Hier haben nun allerdings die Atomphysiker Vorstellungen entwickelt, welche Ausdeutungen in obigem Sinne, wenigstens in der gegenwärtigen Form ziemlich unzugänglich sind. Es wird sich noch zu zeigen haben, wie sich diese mehr energetisch begründeten Ansichten mit den Häufigkeitsverhältnissen der Atomkerne und den sich daraus ergebenden Anhaltspunkten und Hinweisen vereinbaren lassen.

Bemerkungen zur Tabelle. Die Tabelle gibt aus Gründen, die erörtert wurden, nur eine Annäherung der Häufigkeitswerte, welche deshalb in runden Zahlen angeführt sind (siehe S. 532). Teilweise sind die Resultate sicher noch verbesserungsfähig. Es könnten durch Interpolation jetzt schon da und dort vermutliche Fehler eliminiert werden, so z. B. im Bereiche der Atomziffern 44—48. Solche möglichen Fehler, deren Elimination im Bereiche der Analyse liegt, wurden jedoch belassen. In einigen Fällen wurden durch vorgesetzte Pluszeichen Korrekturmöglichkeiten angedeutet. Da wo besondere Fehlerquellen vorliegen, welche auch in der Zukunft durch Analysen nicht eliminiert werden können (z. B. atmosphäre Verluste), wurde ein Interpolationswert gegeben und darunter der Analysenwert in Klammern beigelegt. (∼) bedeutet, dass die Konzentration des betreffenden Elementes in dem zugänglichen irdischen Analysenmaterial sehr klein ist. In bezug auf die Isotopenhäufigkeit wurde auf die von SEABORG (1944) publizierte Tabelle der Isotopenhäufigkeit abgestellt.

Referenzen

- ASTON, F. W., *Mass Spectra and Isotopes*. London 1942.
BROWN, H. & PATTERSON, C., I. The Composition of the Silicate Phase of the Stony Meteorites. *Journ. of Geology* 55 (1947) 405.
GOLDSCHMIDT, V. M., *Geochemische Verteilungsgesetze der Elemente IX*. Norske Videnskaps Akad. Oslo 1938.
HARKINS, W. D., The Constitution and Stability of Atomic Nuclei. *Phil. Mag.* 42 (1921) 305 ff.
— *Proceedings of Nat. Acad. Science*, I (1915) 276.
NIGGLI, P., *Die leichtflüchtigen Bestandteile im Magma*. Leipzig 1920, 5.
— *Geochemie und Konstitution der Atomkerne*. Fennia 50 (1928).
NODDACK I. & W., *Die Häufigkeit der chemischen Elemente*. *Naturwissenschaften* 18 (1930) 757.

- NOLL, W., Die Geochemie des Strontiums. *Chemie der Erde* 8 (1934) 507.
 ODDO, G., *Zeitschr. f. anorg. Chemie*, 86 (1914) 266.
 SEABORG, G. T., *Table of Isotopes. Review of Modern Physics* 16 (1944) 1.
 SONDER, R. A., Zum Bau der Atomkerne. *Zeitschr. f. Kristallographie* 57 (1923) 611.
 — Die Häufigkeitszahlen der Elemente und die Existenz eines neuen Periodischen Systems. *Zeitschr. f. anorg. Chemie* 192 (1930) 257.
 — Die Häufigkeit der Elemente... *Gerlands Beiträge z. Geophysik* 136 (1932) 319.

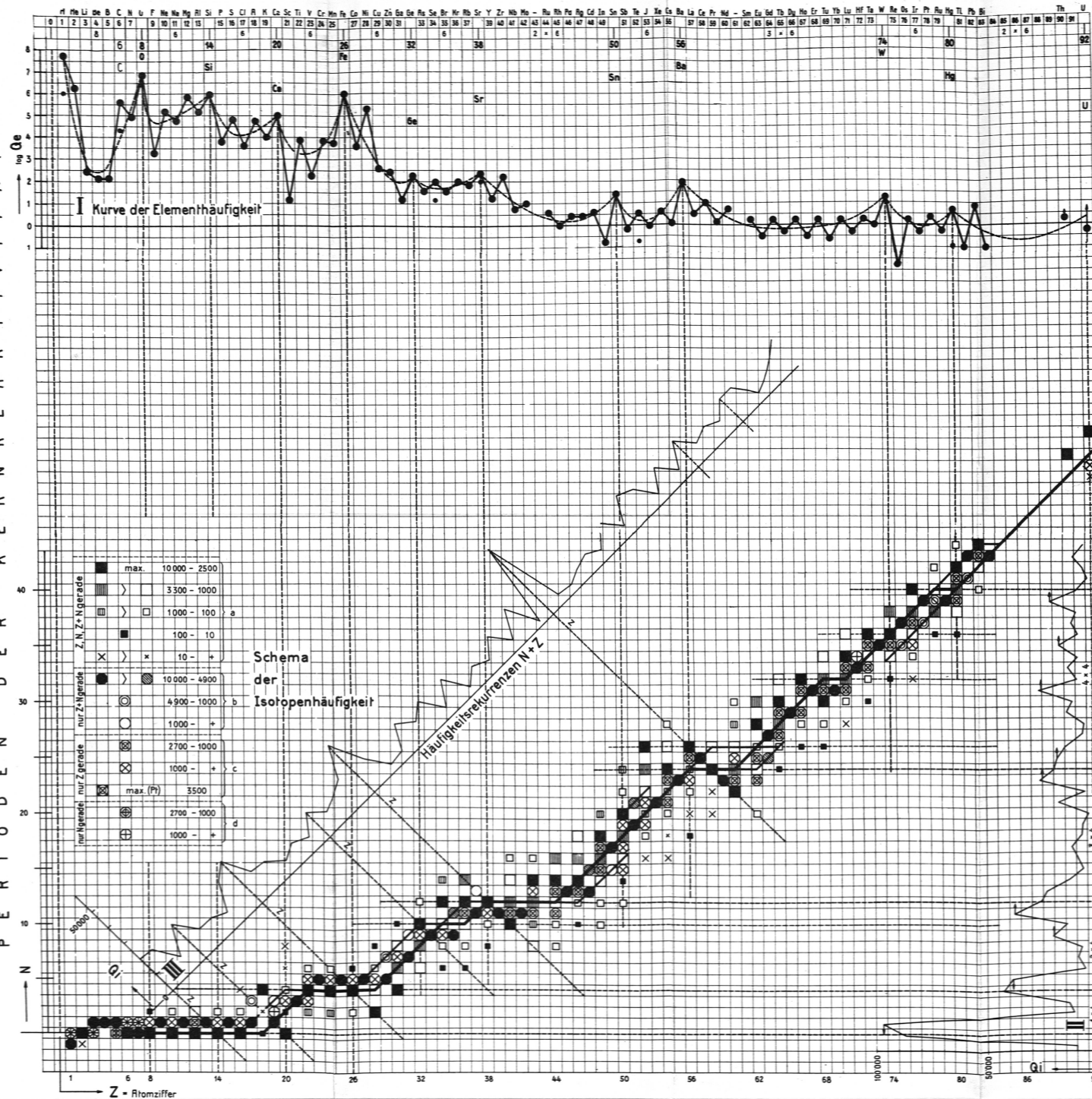
Explanation of the table and summary

Calculation of abundance. The medium composition of matter must be interpolated from the composition of the iron meteorites, the stone meteorites, the Earth's crust and the atmosphere. The composition of the original atmosphere of the Earth is unknown as well as the exact quantitative relation of the other main differentiates of matter. It can be assumed that this relation is such that those elements which are strongly enriched in one differentiate f. i. the atmosphere will follow the general trend of abundance which can be interpolated from the Earth's crust and the stone meteorites. This leads us to an approximate formula of total composition as follows: 1 part Earth's crust or plateau basalts — 5 parts stone meteorites (including metallic iron normally contained in stone meteorites) — 1 part iron meteorites. Elements strongly enriched in the atmosphere are interpolated, the analytical values for elements strongly corrected by interpolation are given in brackets. (\sim) means that very small amounts have been analyzed.

Representation of abundance. The „elementary abundance“ Q_e as well as all given abundances refer to the number of atoms or nuclei. Oxygen is not very useful as a reference element for abundance due to the fact that it may have been abundant in the unknown original atmosphere. For the lithosphere and the siderosphere Si and Fe are better leaders. As we do not know the exact relation of lithosphere and siderosphere and as our method of calculation gives nearly the same abundance for these two elements, it seems convenient to accept by definition the abundance of Si and Fe as equal. The given relative „abundance of elements“ has been calculated for a mixture containing 1 000 000 atoms each of Si and Fe. The „abundance of isotopes“ Q_i gives the number of an isotope in a mixture of 10 000 atoms of the given element. The „nuclear abundance“ Q_n or absolute abundance of nuclear types is obtained by the formula $Q_n = Q_i \cdot Q_e$. In the table curve I represents the elementary abundance as a function of the atomic number Z expressed by the logarithm of Q_e . The isotopic abundance is presented by using the isotopic number N . ($N = A - 2Z$ where A is the atomic weight). Curve II and III express periodic functions of the isotopic abundance.

Periodic functions. NIGGLI noticed in 1920 that apart from the rule of odd and even numbers a period of 6 separates the most abundant elements up to atomic number 26. Today the knowledge of cosmic abundance

PERIODEN DER KERNREAKTIVITÄT



Hierarchie
der Haupt- und Subperioden
Perioden der Atomziffer

Perioden der Isotopenziffer

$N = \text{Isotopenziffer}$

Leere Seite
Blank page
Page vide

Z	A _e	Q _e	N	A _i	Q _i	Q _n	Z	A _e	Q _e	N	A _i	Q _i	Q _n	Z	A _e	Q _e	N	A _i	Q _i	Q _n	Z	A _e	Q _e	N	A _i	Q _i	Q _n	Z	A _e	Q _e	N	A _i	Q _i	Q _n	Z	A _e	Q _e	N	A _i	Q _i	Q _n
1	H	1.000	1	1.000	1.000	1.000	25	Mn	54.93	5	55	10.000	60.000.000	43	Ru	101.7	8	96	568	2.272	56	24	136	781	62.440	72	Ge	72.64	32	72	136	781	62.440	72	Ge	72.64	32	72	136	781	62.440
2	He	4.003	2	4.003	4.003	4.003	26	Fe	55.85	2	54	604	604.000.000	44	Rh	102.91	9	96	568	2.272	57	25	137	1.132	99.560	73	As	74.92	33	74	137	1.132	99.560	73	As	74.92	33	74	137	1.132	99.560
3	Li	6.941	3	6.941	6.941	6.941	27	Co	58.93	3	55	694	694.000.000	45	Pd	106.42	10	99	128	1.132	58	26	138	1.166	100.000	74	Se	78.96	34	78	138	1.166	100.000	74	Se	78.96	34	78	138	1.166	100.000
4	Be	9.012	4	9.012	9.012	9.012	28	Ni	58.69	4	56	694	694.000.000	46	Ag	107.87	11	107	127	1.166	59	27	139	1.166	100.000	75	Br	79.90	35	80	139	1.166	100.000	75	Br	79.90	35	80	139	1.166	100.000
5	B	10.81	5	10.81	10.81	10.81	29	Cu	63.55	5	57	694	694.000.000	47	Zn	65.38	12	106	127	1.166	60	28	140	1.166	100.000	76	Kr	83.80	36	84	140	1.166	100.000	76	Kr	83.80	36	84	140	1.166	100.000
6	C	12.01	6	12.01	12.01	12.01	30	Zn	65.38	6	58	694	694.000.000	48	Ga	69.72	13	107	127	1.166	61	29	142	1.166	100.000	77	Rb	85.47	37	86	142	1.166	100.000	77	Rb	85.47	37	86	142	1.166	100.000
7	N	14.007	7	14.007	14.007	14.007	31	Ga	69.72	7	59	694	694.000.000	49	Ge	72.64	14	108	127	1.166	62	30	144	1.166	100.000	78	Sr	87.62	38	88	144	1.166	100.000	78	Sr	87.62	38	88	144	1.166	100.000
8	O	16.00	8	16.00	16.00	16.00	32	Ge	72.64	8	60	694	694.000.000	50	As	74.92	15	110	127	1.166	63	31	146	1.166	100.000	79	Y	88.91	39	90	146	1.166	100.000	79	Y	88.91	39	90	146	1.166	100.000
9	F	18.998	9	18.998	18.998	18.998	33	As	74.92	9	61	694	694.000.000	51	Sb	121.76	16	112	127	1.166	64	32	148	1.166	100.000	80	Zr	91.22	40	92	148	1.166	100.000	80	Zr	91.22	40	92	148	1.166	100.000
10	Ne	20.183	10	20.183	20.183	20.183	34	Se	78.96	10	62	694	694.000.000	52	Te	127.61	17	115	127	1.166	65	33	150	1.166	100.000	81	Nb	92.91	41	94	150	1.166	100.000	81	Nb	92.91	41	94	150	1.166	100.000
11	Na	22.99	11	22.99	22.99	22.99	35	Br	79.90	11	63	694	694.000.000	53	I	126.91	18	127	127	1.166	66	34	152	1.166	100.000	82	Hf	178.49	42	96	152	1.166	100.000	82	Hf	178.49	42	96	152	1.166	100.000
12	Mg	24.31	12	24.31	24.31	24.31	36	Kr	83.80	12	64	694	694.000.000	54	Xe	131.3	19	129	127	1.166	67	35	154	1.166	100.000	83	Ta	180.95	43	98	154	1.166	100.000	83	Ta	180.95	43	98	154	1.166	100.000
13	Al	26.98	13	26.98	26.98	26.98	37	Rb	85.47	13	65	694	694.000.000	55	Cs	132.91	20	133	127	1.166	68	36	156	1.166	100.000	84	Hf	178.49	44	100	156	1.166	100.000	84	Hf	178.49	44	100	156	1.166	100.000
14	Si	28.09	14	28.09	28.09	28.09	38	Sr	87.62	14	66	694	694.000.000	56	Ba	137.33	21	137	127	1.166	69	37	158	1.166	100.000	85	Rn	222	45	102	158	1.166	100.000	85	Rn	222	45	102	158	1.166	100.000
15	P	30.97	15	30.97	30.97	30.97	39	Y	88.91	15	67	694	694.000.000	57	La	138.91	22	140	127	1.166	70	38	160	1.166	100.000	86	Ra	226	46	104	160	1.166	100.000	86	Ra	226	46	104	160	1.166	100.000
16	S	32.06	16	32.06	32.06	32.06	40	Zr	91.22	16	68	694	694.000.000	58	Ce	140.12	23	142	127	1.166	71	39	162	1.166	100.000	87	Ac	227	47	106	162	1.166	100.000	87	Ac	227	47	106	162	1.166	100.000
17	Cl	35.45	17	35.45	35.45	35.45	41	Nb	92.91	17	69	694	694.000.000	59	Pr	140.91	24	144	127	1.166	72	40	164	1.166	100.000	88	Th	232	48	110	164	1.166	100.000	88	Th	232	48	110	164	1.166	100.000
18	Ar	39.94	18	39.94	39.94	39.94	42	Mo	95.94	18	70	694	694.000.000	60	Nd	144.24	25	146	127	1.166	73	41	166	1.166	100.000	89	Pa	231	49	112	166	1.166	100.000	89	Pa	231	49	112	166	1.166	100.000
19	K	39.09	19	39.09	39.09	39.09	43	Tc	98.91	19	71	694	694.000.000	61	Pm	144.91	26	148	127	1.166	74	42	168	1.166	100.000	90	U	238	50	114	168	1.166	100.000	90	U	238	50	114	168	1.166	100.000
20	Ca	40.08	20	40.08	40.08	40.08	44	Ru	101.7	20	72	694	694.000.000	62	Sm	150.35	27	150	127	1.166	75	43	170	1.166	100.000	91	Np	237	51	116	170	1.166	100.000	91	Np	237	51	116	170	1.166	100.000
21	Sc	44.96	21	44.96	44.96	44.96	45	Rh	102.91	21	73	694	694.000.000	63	Eu	151.96	28	152	127	1.166	76	44	172	1.166	100.000	92	Pu	244	52	118	172	1.166	100.000	92	Pu	244	52	118	172	1.166	100.000
22	Ti	47.90	22	47.90	47.90	47.90	46	Pd	106.42	22	74	694	694.000.000	64	Gd	157.25	29	158	127	1.166	77	45	174	1.166	100.000	93	Am	243	53	120	174	1.166	100.000	93	Am	243	53	120	174	1.166	100.000
23	V	50.95	23	50.95	50.95	50.95	47	Ag	107.87	23	75	694	694.000.000	65	Tb	158.93	30	160	127	1.166	78	46	176	1.166	100.000	94	Cm	247	54	122	176	1.166	100.000	94	Cm	247	54	122	176	1.166	100.000
24	Cr	52.01	24	52.01	52.01	52.01	48	Cu	63.55	24	76	694	694.000.000	66	Dy	162.50	31	162	127	1.166	79	47	178	1.166	100.000	95	Bk	247	55	124	178	1.166	100.000	95	Bk	247	55	124	178	1.166	100.000

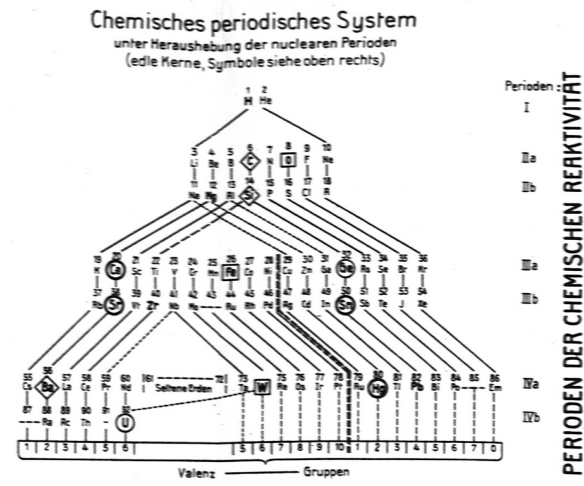


Tabelle der natürlichen relativen Häufigkeit der Atomkerne.

Z - Atomnummer
A_e - Atomgewicht
A_i - Isotopengewicht
N - Isotopennummer
Q_e - Elementhäufigkeit
Q_i - Isotopenhäufigkeit
Q_n - Kernhäufigkeit

z - Häufigkeitsmaxima für Z + N = konstant (in Isotopendiagramm)

Leere Seite
Blank page
Page vide

of nuclear species has made it clear, that the relative abundance of nuclei is governed by structural periodicities of the nucleus and its reactivity, which seem in many respects comparable to the structural periodicities of the electronic shells of the atom, expressed by the chemical properties of elements. It is a curious fact that the numerical laws contained in the relative abundance of nuclei correspond very exactly to a crystallographic packing formula used by SONDER in 1923 to explain the relative abundance of the nuclei and the increase of atomic weight. This formula served then to predict the nuclear periodicities shown in the accompanying table, which are today entirely confirmed by the result of the analytical research work. Notwithstanding that such conceptions of packing are partly opposed to modern theories of nuclear structure, this fact merits a careful consideration even today. It would be strange indeed if the very considerable numerical material of nuclear abundance should show such a remarkable and complete parallelism with the laws of polyhedral packing principles by pure coincidence.