Als Endresultat ergibt sich, daß die meisten Probleme, die mit den genetischen Beziehungen der Elemente und mit ihrem Aufbau zusammenhängen, wie sie uns die Lehre von der Radioaktivität und das periodische System in seiner neuen Form erschlossen hat, zu ihrer völligen Klärung im höchsten quantitativen Sinne voraussichtlich noch auf lange Zeit der Beihilfe feinsten chemischer Präzisionsarbeit bedürfen werden.

Über die Massenverteilung im Erdinneren, verglichen mit der Struktur gewisser Meteoriten.

Von V. M. Goldschmidt, Kristiania.

Die Ergebnisse der Seismologie lehren uns bekanntlich, daß im Erdinneren eine Schalenanordnung verschieden dichter Stoffe angenommen werden muß, derart, daß um einen schweren Erdkern nach außen hin immer leichtere Stoffe angeordnet sein müssen. Über den stofflichen Bestand der einzelnen Schalen wissen wir, daß die äußerste Erdkruste aus verhältnismäßig leichten Silikaten besteht, der Erdkern hingegen höchstwahrscheinlich aus Nickeleisen. Für die dazwischen liegenden Schalen nimmt man gemeinhin an, daß diese vorzugsweise aus Magnesiumsilikaten bestehen, eventuell gemischt mit Nickeleisen.

Ich möchte annehmen, daß man, gestützt auf neuere Ergebnisse der Petrographie, zu wahrscheinlicheren Annahmen über die Beschaffenheit dieser Schalen gelangen kann.

Die Zusammensetzung der äußersten festen Schale, der Silikathülle, kennen wir mittels Durchschnittszahlen aus den Analysen frischer Eruptivgesteine, wie sie beispielsweise zuletzt von H. S. Washington berechnet worden sind. Die Dichte dieser Silikathülle können wir zu etwa 2,8 veranschlagen, in Übereinstimmung mit der Dichte des Opdalits¹⁾. Die Dicke dieser Schale wird auf etwa 120 km geschätzt, nach den Ergebnissen über die Ausgleichstiefe der Schwereanomalien.

Unter dieser Silikathülle wird gewöhnlich eine schmelzflüssige Schale basischer Silikate angenommen. Neuere petrographische Arbeiten, insbesondere P. Eskolas wichtige Arbeiten über die Eklogite machen es mir indes wahrscheinlicher, daß diese Schale aus festen Silikatgesteinen in einem Zustande besonderer Kompression besteht, einem Zustande, in welchem die jeweilig dichtesten Minerale und Mineralkombinationen vorliegen.

¹⁾ Der Opdalit ist ein vom Verf. entdecktes Tiefengestein, welches in seiner chemischen Zusammensetzung sehr nahe der Durchschnittszusammensetzung der Silikathülle entspricht. Er besteht aus Plagioklas (Andesin, etwa 43 %), Kalifeldspat (etwa 14 %), Biotit (etwa 10 %), diopsidischem Augit (etwa 5 %), Hypersthen (etwa 9 %), Quarz (etwa 15 %) sowie ca. 2 % Erzen und Apatit.

Eklogitgesteine von ungefähr gabbroider Zusammensetzung besitzen eine Dichte von etwa 3,6, bei Druckentlastung gehen sie in Gabbrogesteine bzw. Gabbroschmelzflüsse über, mit einer Dichte von etwa 3. Die Möglichkeit isostatischen Ausgleichs an der Grenzfläche zwischen Silikathülle und Eklogitschale ist durch die bedeutende Volumenänderung beim Übergang gegeben. Bei lokaler oder regionaler Zunahme des Belastungsdruckes nimmt unter der Druckstelle die Menge der im Eklogitzustand befindlichen Substanz zu, bei Druckentlastung wird der Eklogit in leichtere Silikate oder Silikatschmelzflüsse verwandelt. Druckentlastung ohne gleichzeitige Temperaturerniedrigung kann nämlich innerhalb eines gewissen Temperaturintervalles zur Schmelzung von Eklogit unter Entstehung von Basaltmagma führen. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß der Herd vulkanischer Erscheinungen in manchen Fällen eben an der Grenze zwischen Silikathülle und Eklogitschale zu suchen ist. Hierfür spricht das

Fig. 1. Durchschnitt durch die Erde.

Auftreten von Eklogiteinschlüssen beispielsweise in den Kimberlitudurchbrüchen in Südafrika²⁾.

Die Eklogitschale ist die normale Heimat einer Reihe spezifisch schwerer Minerale, die nur ausnahmsweise in höheren Teilen der Erdrinde entstehen können, wie besonders Pyrop, jadeitische und chloromelanitische Pyroxene sowie Diamant.

Die Eklogitschale dürfte bis zu einer Tiefe von etwa 1200 km hinabreichen³⁾, in dieser Tiefe trifft man eine Unstetigkeitsfläche gegen eine tiefere und vermutlich wesentlich schwerere Schale. Man hat in der Regel angenommen, daß in den tieferen Teilen der Steinschalen eine zunehmende Beimengung metallischen Eisens (bzw. Nickeleisens) auf-

²⁾ Solche Eklogiteinschlüsse in Explosionsschloten dürften wohl der Eklogitschale entstammen, hierfür spricht neben der Art des geologischen Auftretens besonders auch das Vorkommen des Diamanten. Die meisten anderen Eklogitvorkommen, die uns zugänglich sind, stammen jedoch nicht aus der Eklogitschale, sondern sind lokale Bildungen in der äußeren Silikathülle, entstanden durch lokale Drucksteigerung in Faltungsregionen, wie beispielsweise die alpinen Eklogitgesteine.

³⁾ In den tieferen Teilen der Eklogitschale dürfte die Dichte bis ca. 4 ansteigen.

tritt. Bei dem großen Dichteunterschied zwischen den schwersten gesteinsbildenden Silikaten einerseits (Dichte 3,6—4), Nickeleisen andererseits (Dichte 7,6—8) halte ich es nicht für wahrscheinlich, daß in dem *starken Schwerefeld* der Erde eine solche *Mischung* bestandfähig wäre, wenigstens nicht in Gesteinen, die zeitweilig in schmelzflüssigem Zustande gewesen sind. Ich möchte deshalb annehmen, daß unter den tiefsten Teilen der einigermaßen reinen Silikatschalen nicht eine Mischung von Silikaten und Eisen auftritt, sondern solche Stoffe, die einerseits schwerer als die Silikate sind, anderseits leichter als der eigentliche Eisenkern. Derartige Stoffe sind insbesondere gewisse sulfidische und oxydische Erze. Ich möchte deshalb glauben, daß unterhalb der Eklogitschale, mehr oder weniger scharf abgegrenzt gegen diese, eine Schale von Sulfiden und Oxyden auftritt. Diese dürfte vorwiegend aus Schwefeleisen und Magnetit bestehen, daneben dürfte sie Chromit, Titanisen und Rutil enthalten sowie kleinere Mengen noch anderer Sulfide als nur die des Eisens. Die Bildung dieser Schale dürfte teilweise durch Entmischung in flüssigem Zustande, teilweise durch Absinken fester oxydischer Erze bzw. flüssiger Sulfidmagmen aus dem Steinmantel vor sich gegangen sein. Ob diese Sulfid-Oxyd-Schale in sich homogen ist oder selbst wieder eine Unterteilung nach der Dichte aufweist, erscheint noch ungewiß, doch ist letzteres wahrscheinlicher; ihre mittlere Dichte dürfte etwa gleich 5—6 zu setzen sein. Eine Schale aus „Eisenerzen“ wurde bereits von W. Klußmann angenommen. Diese Schale reicht nach seismologischen Daten bis zu einer Tiefe von etwa 2900 Kilometern, nach unten folgt dann der eigentliche Erdkern, der höchstwahrscheinlich aus Nickel-eisen mit einer Dichte gleich etwa 8 besteht.

Ein derartiger Schalenbau des Erdballs ist unumgänglich, falls die Erde ursprünglich schmelzflüssig gewesen ist, da ein Gemenge von Silikaten, Sulfiden und freiem Eisen in einem großen Temperaturgebiete oberhalb des Schmelzgebietes in *drei* unmischbare Flüssigkeiten zerfällt. Die Sonderung des silikatischen Anteils in eine äußere Hülle und eine innere Eklogitschale ist hingegen an eine mehr oder weniger vollständige Kristallisation geknüpft, während welcher Kristallisation auch noch eine Zunahme der Sulfid-Oxyd-Schale auf Kosten solcher Sulfide und Oxyde stattgefunden hat, die aus der kristallisierenden Silikatschale abgesunken sind.

Die relative Seltenheit der meisten technisch wichtigen Schwermetalle in der uns zugänglichen äußeren Silikathülle beruht nun offenbar darauf, daß bei der ersten Trennung des Erdkörpers in Metallkern, Sulfidschale und Silikatschale alle diejenigen Metalle, die leichter reduzierbar sind als Eisen oder besonders starke Affinität zum Schwefel besitzen, von vornherein vorzugsweise im Metallkern und in der ursprünglichen Sulfidschale angereichert wurden, so daß nur ein ganz

kleiner Bruchteil dieser Metalle in der Silikatschale verblieb. Auch von diesem kleinen Bruchteil sind bei der späteren Abkühlung der Silikatschale gewiß ganz bedeutende Mengen durch Absinken in die tieferen Teile des Erdkörpers gewandert. Diese Art der Verteilung von edlen und halbedlen Metallen zwischen Metallkern, Sulfid-Oxyd-Schale und Silikatschale entspricht durchaus den metallurgischen Trennungsoperationen⁴⁾ bei der Bildung von „Schlacke“, „Stein“ und „Eisensau“. H. S. Washington hat die chemischen Elemente ebenfalls in „metallo-genetische“ und „petro-genetische“ eingeteilt, nach ihrem Auftreten teils in der silikatischen Hülle, teils in den metallischen Kernregionen.

Eine notwendige Vorbedingung für die Entstehung eines solchen konzentrischen Schalenbaues, wie er dem Erdbau zugrunde liegt, ist das Vorhandensein eines genügend starken *Schwerefeldes*, wie es etwa durch die eigene Masse der Erde hervorgerufen wird. Bei kleineren kosmischen Massen mag in vielen Fällen das Schwerefeld ungenügend sein, um eine solche, relativ scharfe räumliche Sonderung zu bewirken. Ich möchte glauben, daß manche Meteoriten, insbesondere die *Pallasite*, instructive Beispiele für diese Erscheinung bieten.

In den meisten Pallasiten bilden die Silikate (vor allem der Olivin) rundliche Einschlüsse im Nickeleisen, die offenbar in der Weise entstanden sind, daß flüssige Silikattropfen in einem Metallschmelzflusse suspendiert waren. Eine solche Suspension wäre in starken Schwerefeldern äußerst unbeständig; das System würde sich in Metallschmelze und Silikatschmelze trennen. Dasselbe gilt für eine Nickeleisenschmelze mit darin suspendierten *festen* Silikat Körnern. Nur durch sehr schnelle Erstarrung könnte ein solcher instabiler Zustand im irdischen Schwerefeld arretiert werden, nun zeigt aber die Struktur des Eisenanteils in Pallasiten keinerlei Merkmale sehr plötzlicher Kristallisation⁵⁾. Wir werden deshalb zu der Folgerung geführt, daß die Pallasite zur Zeit ihrer Erstarrung sich nicht in einem starken Schwerefeld befunden haben, daß sie also offenbar einem *relativ kleinen Himmelskörper* angehört haben und nicht feste Bruchstücke eines bereits erstarrten *großen* Körpers sein können, falls sie

⁴⁾ Aus den Betrachtungen, in denen ich oben die Entstehungsweise des Schalenbaus im Erdkörper dargestellt habe, ersieht man, daß die Silikathülle der Erde systematisch ihres Inhalts an manchen wertvollen Metallen beraubt worden ist, erstens durch die ungünstige Primärverteilung dieser Metalle zwischen Silikatschmelze, Sulfidschmelze und Metallschmelze, zweitens durch späteres Absinken bei der Kristallisation. Letzterer Umstand hat insbesondere solche spezifisch schweren Metalle getroffen, die leicht reduzierbar sind und einen hohen Schmelzpunkt besitzen (also frühzeitig aus der Silikatschmelze auskristallisieren). Die Seltenheit des Platins in den Gesteinen der Silikathülle dürfte hierin begründet sein.

⁵⁾ Die Struktur des Eisenanteils deutet im Gegenteil auf eine sehr langsame Kristallisation.

nicht etwa einer späteren Umschmelzung unterworfen worden sind. Ihre Erstarrungsgeschichte hat sich jedenfalls *ohne* Gegenwart eines starken anisotropen Schwerfeldes abgespielt.

Im selben Sinne, wenngleich nicht derart kraß, kann das Auftreten von Troilit- (und Troilit-Chromit-) Knollen in meteorischem Nickel-eisen gedeutet werden. Diese Knollen entsprechen der Sulfid-Oxyd-Schale im Erdinnern.

Es wäre von großem Interesse, die Gesamtheit der Meteoriten auf den Grad ihrer Schweresonderung zu untersuchen, da man hieraus vielleicht zu weiteren Aufschlüssen über ihre Herkunft und Geschichte gelangen könnte.

In *manchen* Eisenmeteoriten findet man ungleichmäßige Verteilung der leichteren Einschlüsse im Nickeleisen, wie lokale, unsymmetrische Anreicherung von Olivinkristallen, schlierige oder streifenförmige Anordnung des Schwefeleisens, welches darauf hindeutet, daß gewisse, wenn auch *schwache* Schwerewirkungen ihren Einfluß geltend machten, während das Nickeleisen noch flüssig war⁶⁾.

Von besonderem Interesse wäre es auch, die *Erstarrungsgeschichte* der Pallasite näher zu studieren, um insbesondere die Frage zu behandeln, in *welchen* Pallasiten die Silikattropfen bereits vor Erstarrung des Metallbades erstarrten, in *welchen* erst *nachher*, und ob diese Erstarrungsgeschichte in Beziehung zu den Schmelzdiagrammen Nickel-Eisen und Olivin-Fayalit gebracht werden kann.

In Meteoriten finden wir niemals Mineralkombinationen, welche der Eklogitschale der Erde entsprechen würden; dies hat offenbar seinen Grund darin, daß in *kleinen* Himmelskörpern nicht der notwendige Belastungsdruck für die Bildung von Eklogiten aufgebracht werden kann.

Das Vorkommen von Diamant als Seltenheit in einzelnen Meteoreisen könnte zwar auf Bildungsbedingungen hindeuten, welche mit der Eklogitfacies vergleichbar sind, immerhin kann der Diamant auch *ohne* starken Belastungsdruck entstanden sein, in Analogie mit *Moissans* bekannter Synthese.

Das Auftreten von solchen Struktureigentümlichkeiten, die auf Abwesenheit starker Gravitationswirkungen hindeuten, bringt uns zu der Frage, ob es experimentell gelingen könnte, solche Strukturen nachzuahmen, wie sie den Pallasiten zu eigen sind. Im Laboratorium oder im technischen Schmelzofen sind die Einwirkungen des Schwerfeldes nicht zu eliminieren, wir können keine dauernde Suspension von Silikattropfen in geschmolzenem Nickeleisen herstellen; es beruht ja die technische Herstellung von Eisen im Hochofen gerade auf der gravitativen Sonderung von Eisen und Silikatschlacke. Es bietet sich nur *eine* Möglichkeit, den Einfluß eines Schwerfeldes (bzw. Trägheitsfeldes) bei einem Schmelzversuch

weitgehend auszuschalten, nämlich den Versuch in einer frei fallenden Schmelzmasse auszuführen, die genügend schwer ist, um die Hemmung durch Luftwiderstand weitgehend auszuschalten, etwa indem man die Schmelze in einen granatenförmigen Behälter von einem Flugzeug hinabfallen ließe.

Neue physiologische Untersuchungen über das Leben in den Anden.

Von A. Loewy, Berlin.

In der Nummer vom 29. Juli d. J. der englischen Zeitschrift *Nature* findet sich ein Aufsatz des bekannten Cambridger Physiologen J. Barcroft: „The physiology of life in the Andes.“

Er enthält in kurzer Darstellung die Ergebnisse von Untersuchungen, die in den peruanischen Anden angestellt wurden. Sie betreffen die Besonderheiten im Ablauf der physiologischen Vorgänge, welche ein beschwerdefreies und körperliche Arbeit gestattendes Leben in jenen Hochregionen für die Eingeborenen ermöglichen, und die Anpassungsvorgänge, die bei Tiefländern sich allmählich ausbilden, wenn sie längere Zeit in diesen Höhen leben, und die dazu führen, daß auch *diese*, wenigstens bei Körperruhe, schließlich keinerlei Krankheitssymptome mehr zeigen.

Beim Lesen des Barcroftschen Berichtes muß denjenigen, der selbst in den Zeiten von Deutschlands Glanz und Ruhm an ähnlichen Unternehmungen sich beteiligt hat, ein Gefühl der Niedergeschlagenheit und des Neides beschleichen bei der Wahrnehmung, daß deutsche Forscher heute und wohl noch für lange Zeit außerstande sind, derartige Untersuchungen auch nur zu planen, während die angelsächsischen Forscher schon kurz nach Beendigung des Weltkrieges in der Lage waren, an große wissenschaftliche Unternehmungen heranzugehen und Gegenstände weiterzufördern, an deren bisheriger Bearbeitung die deutsche Wissenschaft einen nicht geringen Anteil hatte.

Aus der Darstellung *Barcrofts* geht dieser Anteil allerdings nicht hervor, denn sie beschränkt sich auf die Beschreibung der eigenen Expedition und deren Ergebnisse. Letztere bestätigten vielfach nur die älteren Befunde. In einigen Punkten jedoch bringen sie neue und überraschende Kenntnisse.

Mit Unterstützung verschiedener englischer und amerikanischer Institute und mit Hilfe von Spenden von privater Seite bildeten sich eine englische und eine amerikanische Abteilung, deren erste von Liverpool, deren zweite von New York nach Lima aufbrach. Von dort ging die Reise mit der transandinischen Bahn über die Randkordillere in Höhe von 5300 m hinab nach Oroya (4000 m), das in den Steppen zwischen den beiden parallelen Kordillerenketten gelegen ist, und von da nach dem Bestimmungsorte Cerro de

⁶⁾ Möglicherweise durch Rotation des Meteoriten (Zentrifugalkraft) hervorgebracht.