

steine der unteren Schieferhülle mit ihren zu Quarzphyllit veränderten Tektoniten.

Nördlich der Brixener Masse trennt eine große nachkristalline Störung den südlichen Quarzphyllit mit seinem von dem des Deckgebirges unabhängigen Bau von dem nördlichen Gneisgebiet, in dessen Bau das Mesozoikum einverleibt ist. Daraus lösen sich nun die Hohen Tauern. Sie werden aufgefaßt als parautochthone Gneisschwellen, die mit der unteren Schieferhülle unter hoher Belastung verfault sind, wobei die Schieferhülle selbst tektonisch vervielfacht, sogar in Form nordwärts getriebener Teildecken losgelöst wurde. Während einst die Schieferhülle auf den Tauerngneisen wie auch auf den Laaser Schiefen und Maulser Gneisen lagerte, liegen heute: unten Tauerngneise und Schieferhülle, darüber getrennt durch eine große Bewegungsfläche das Altkristallin mit dem Tribulaunmesozoikum und schließlich die Steinacher Decke.

Im Altkristallin weichen die einzelnen Züge im Streichen oft von der allgemeinen NO-Richtung beträchtlich ab. An zwei auffälligen mylonitischen Störungen (Jaufenpaß und Marlingerberg) sind mitunter mesozoische Gesteine eingeklemmt.

Unter den Bewegungsvorgängen lassen sich unterscheiden: ein vorpermischer, von Laaserkristallisation überholter, und zwei nachtriadische, von denen der eine von der Tauernkristallisation überdauert wurde. Laaser- und Tauernkristallisation können wegen ihrer großen Ähnlichkeit nicht immer getrennt werden, es ist daher das Vorhandensein der Laaserkristallisation in den Tauern nur aus Analogiegründen zu erschließen. Die Tauernkristallisation wechselt dem Grade nach örtlich: im Norden und in größerer Entfernung von den Gneisen ist sie schwächer oder fehlt. Verursacht wird dies teils durch die tektonische Verschleppung aus dem Wirkungsbereich der Tauernkristallisation, teils durch Bewegungen an Gesteinen außerhalb.

Starke Bewegungen nach der Tauernkristallisation führten zu Knickungen im Streichen des Altkristallins, vor allem aber spielten sie sich an der Grenze gegen das Altkristallin ab und verknüpten tauernkristalline mit nicht derartig veränderten Gesteinen. Die Tauern verdanken demnach ihren Bau, ihre Tauernkristallisation nicht der Überschiebung und der Belastung durch das Altkristallin.

Gegen die Anschauungen von P. Termier, R. Staub und L. Kober wird insbesondere eingewendet, daß deren Deckengrenzen, wie auch die Fuge zwischen Alpen und Dinariden in vollkommen einheitlich gebaute Gegenden gelegt sind. Abgesehen davon haben Alpen und Dinariden sovieler Gemeinsamkeiten in der vortriadischen Tektonik, wie auch in der Gesteinszusammensetzung — die Brixener Intrusivmasse steckt in Alpen und Dinariden — daß eine scharfe Scheide an und für sich unwahrscheinlich ist.

L. Waldmann.

Gerhard Kirsch: Geologie und Radioaktivität. Die radioaktiven Vorgänge als geologische Uhren und geophysikalische Energiequellen. (VI, 214 S.) Berlin und Wien: J. Springer, 1928.

Das Buch enthält einen umfassenden und kritischen Bericht über die Gedankengänge, welche die Erfahrungen der jung erblühten Wissenschaft der Radioaktivität für die Deutung der geologischen Vorgänge zu verwerten suchen. Seine Entstehung aus einer Reihe von akademischen Vorlesungen kommt der Methodik der Darstellung zugute, die zunächst den Nichtphysiker mühelos vertraut macht mit den hier in Betracht kommenden Grundtatsachen. Den Geologen kümmern weniger alle die wunderbaren Erkenntnisse über die

Strahlenarten, die Größen und Geschwindigkeiten der bewegten Teilchen usw., viel mehr aber die größeren Gesamtwirkungen und die Ergebnisse des radioaktiven Atomzerfalles. Hierher gehört vor allem die den Atomzerfall begleitende Abgabe von Energie in Form von Wärme. Sie verlangt eine gründliche Nachprüfung unserer Vorstellungen über die Erkaltung der Erde, wie überhaupt über die Energiequelle des Erdinneren, die sich in dem andauernden Wärmestrome aus der Tiefe, in den vulkanischen und in den gebirgsbildenden Vorgängen kundgibt. Ihre Erklärung ist abhängig von der Frage nach der Menge und Verteilung der radioaktiven Stoffe im Erdinnern und damit im Zusammenhange nach der stofflichen Gliederung des gesamten Erdkörpers.

Hierher gehört ferner die Anhäufung der Endprodukte der radioaktiven Umwandlung, des Bleis und des Heliums in uranhaltigen Mineralien. Ein Vorgang, der unbeeinflusst von äußeren physikalischen Einwirkungen proportional der Zeit abläuft und von dessen Nachprüfung in Einzelfällen, man ziffermäßige Daten über die Dauer geologischer Epochen erwartet. Dazu kommen noch, als örtliche Erscheinungen, mancherlei Einflüsse auf die Färbung und Kristallisation vieler Minerale durch die radioaktive Strahlung, die in besonderen Fällen Anhaltspunkte über die Dauer der Einwirkung und somit über das geologische Alter einzelner Vorkommnisse zu liefern vermögen.

Der erste gegenständliche Abschnitt „über die Verbreitung der radioaktiven Substanzen“, beschreibt zunächst die wunderbar feinen Methoden zur Bestimmung des Radium- und Thoriumgehaltes in Gesteinen und erläutert kritisch die durch die zahlreichen Messungen von Strutt, Joly, Poole, Fletcher, Farr, Florence, Büchner, Petterson, Mache und Bamberger, Smeeth, Watson u. a. gewonnenen Zahlen. Für die Beurteilung der Wärmeentwicklung ist auch die geringe Radioaktivität des so sehr verbreiteten Kaliums nicht zu vernachlässigen. Neben der bekannten Tatsache, daß der Radiumgehalt innerhalb der Größenordnung 10 bis 12 in sauren Gesteinen zumeist höher ansteigt als in basischen, wird noch besonders hervorgehoben, daß auch regionale Unterschiede im Radiumgehalte der Gesteine wahrzunehmen sind und daß es radiumreichere und radiumärmere Landstriche gibt. (Die Zukunft wird lehren, ob diese Verteilung mit der Gauverwandschaft der Magmen in Beziehung steht.) Bemerkenswert ist der gleichmäßig niedrige Radium- und Thoriumgehalt der Deckenbasalte verschiedener Gebiete.

Die Frage nach Verteilung der radioaktiven Elemente im Erdinnern knüpft an die Vorstellung von V. M. Goldschmidt, der eine ursprüngliche Trennung der Stoffe in drei flüssige und eine gasförmige Phase annimmt, die in der ersten Schmelze nach ihrem spezifischen Gewichte gesondert wurden und in die in sich die Elemente nach ihren chemischen Verwandtschaften angereichert haben. Der metallische Kern hat die Hauptmasse der siderophilen Elemente aufgenommen. In der Sulfidoxidschale und in der Silikatschale sind die chalkophilen und lithophilen Elemente angereichert. Die große Affinität zum Sauerstoff fesselt Kalium, Uran und Thorium an die Lithosphäre und das große Ionenvolumen dieser Elemente verhindert ihre Aufnahme in die sinkenden Bodenkörper bei der fortschreitenden Differenzierung. Mit den saueren Schmelzen und Emanationen werden sie nach oben geführt und so findet der Schluß auf eine Konzentration der schweren radioaktiven Elemente in der äußeren Erdschale seine physikalische Begründung.

Im zweiten Abschnitte, „Die radioaktiven Stoffe als Energiequelle“, wird gezeigt, daß nach einfacher Berechnung bei gleichmäßiger Verteilung der radioaktiven Stoffe, die durch sie gelieferte Wärmemenge den aus dem Wärmegefälle in der Nähe der Oberfläche erschlüssenen Wärmestrom

fast um das 200fache übertreffen würde. Alle weiteren Schlüsse auf die dynamische Auswirkung der Energien radioaktiver Stoffe in der äußeren Erdhülle hängen davon ab, wie man sich die Verteilung dieser Stoffe im Innern des Planeten vorzustellen hat, ob man der radioaktiven, das ist der Wärme erzeugenden Schichte, eine größere oder geringere Stärke mit geringerer oder größerer Konzentration zugestehen will.

Als ein Beispiel für die auf die Zusammenhänge zwischen Erhaltung, Kontraktion, Radioaktivität und Gebirgsbildung gerichteten Untersuchungen wird Jeffreys Betrachtungsweise der Abkühlung der Erde näher erläutert. Sie zeigt bereits, wie der Weg zu der Schlußforderung, daß die Kontraktion genüge, um die Gebirgsbildung zu erklären, durch eine Bahn von ziffermäßigen Annahmen geführt werden muß, die der gewissenhafte Geologe kaum als abgeschlossene und fertige Ergebnisse seiner Untersuchungen aus seiner Hand entlassen wird. Den Geologen interessiert aber die Ableitung einer „spannungslosen Fläche“ in der erkaltenden Erde durch O. Fisher und Jeffreys. Sie liegt dort wo die Zugspannung der äußeren Hülle in die Druckspannung der Tiefen allmählich übergeht. Sie wurde schon in verschiedenen Hypothesen der Gebirgsbildung verwertet. Eigentümlich ist, wie Jeffreys seine Anschauung der Annahme eines rhythmischen Charakters der Gebirgsbildung anzupassen sucht. Sechs „Revolutionen“ sollen im Laufe der Erdgeschichte eingetreten sein. Elastizitätskoeffizient und Bruchspannung sollen in den Krustengesteinen ein Sechstel der für die Erdoberfläche angenommenen Kompression betragen, daher soll sechsmal im Laufe der Erdgeschichte Überschreitung der Spannung und daher Gebirgsaufstau eingetreten sein.

Ganz andere Wege zu ähnlichen Zielen hat J. Joly in seinem Buche „The Surface-History of the Earth“ eingeschlagen. Auch er sucht nach einer Erklärung der tektonischen Vorgänge, der Transgressionen, der Hebungen und Senkungen von Kontinenten, des Aufstauens von Gebirgen und der angeblichen rhythmischen Wiederkehr von solchen Ereignissen auf der Grundlage radioaktiver Energiequellen.

Als erste der Voraussetzungen, auf denen die Hypothese aufgebaut ist, gilt die Annahme, daß die Erde in einer gewissen Tiefe von einer gleichförmigen basaltischen Schicht umgeben sei, auf der die Kontinente schwimmen. Sie enthält eine gewisse Menge von Wärme erzeugenden radioaktiven Stoffen. Isostatisches Gleichgewicht bestimmt andauernd die gegenseitige Lage der Kontinente und der Ozeanböden. Dazu kommen noch planetarische Kräfte, wie Gezeitenreibung und Präzisionsbewegung, die gestaltend auf die äußere Erdkruste einwirken können. Nach einer Berechnung würde eine Masseneinheit von Basalt durch die in ihr enthaltene Radiummenge in ungefähr 30 Millionen Jahren bis zur Schmelzwärme erhitzt werden, unter der Voraussetzung, daß die entwickelte Wärmemenge nicht zum Abflusse gelangt. Daß die Kontinente einen Wärme abschließenden Schirm darstellen, wird daraus geschlossen, daß das Wärmegefälle der Kontinentalflächen keiner höheren Wärmemenge entspricht, als der, die in den Kontinentalmassen selbst erzeugt wird. Dort wird die basaltische Unterlage im Laufe langer Zeiträume bis zum Aufschmelzen erhitzt; die damit verbundene Volumveränderung verursacht ein isostatisches Niedersinken der Kontinente und soll die weitausegreifenden Transgressionen erklären. Zugleich wirken auch die Gezeiten auf die Magmaschmelze. Wärme wird konvektiv den Ozeanböden zugeführt und auch ihr Untergrund beginnt zu schmelzen. In der nun auf etwa 3 km verdünnten Deckschicht über den ozeanischen Basalten wird das Wärmegefälle versteilt und der Wärmeabfluß beschleunigt. Ein Zeitraum von weniger als

acht Millionen Jahren soll genügen zur Abgabe der ganzen latenten Wärme. Bei der Erstarrung werden die Kontinente wieder isostatisch in frühere Stellung emporgehoben.

Dieser zyklische Prozeß des Basaltmagmas soll sich im Laufe der Erdgeschichte etwa vier- bis fünfmal, und zwar in Zeitabständen von 40 bis 50 Millionen Jahren, wiederholt haben; und die einzelnen Zyklen sollen den insbesondere von den Amerikanern unterschiedenen „Revolutionen“ in der Erdgeschichte, der vormaläozoischen, der kaledonischen, der variszischen, der Laramiden-, und der alpinen Revolution, entsprechen.

Eingehender werden nun die Ergänzungen zu dieser Hypothese von Poole und Cotters und insbesondere deren weitergehende Abwandlungen von Holmes besprochen. Auch Holmes strebt nach einer Revision der Abkühlungstheorie; denn eine gleichmäßige Abkühlung vermöge nicht den unregelmäßigen Gang der Erdgeschichte zu erklären. Ihr Verständnis verlange nach einem zeitweise gestauten Wärmestrome, wie er von den radioaktiven Stoffen geliefert werde. Die Vorstellung von den Dimensionen der Kontinente wird abgeändert durch Anwendung der aus der physikalischen Erdbebenforschung gewonnenen Werte; und die Ziffern für die erzeugte Wärmemenge erfahren eine Abänderung durch Berücksichtigung des vom Kalium gelieferten Beitrages. Das Wesentliche an der Betrachtungsweise von Holmes ist aber die Annahme zweier tieferer Zonen unter der Basaltzone; dieser angeschlossen sei die aus kristallisiertem Basaltmagma bestehende Eklogitzone, und darunter folge eine noch basischere Zone aus Peridotit. Wegen der ungleichen Schmelzpunkte nimmt der Aufschmelzungsvorgang einen verschiedenen Verlauf in den einzelnen Zonen. Einem Aufschmelzungszyklus in der Peridotitzone entsprechen mehrere im Basalt und Eklogit; und Holmes teilt die Erdgeschichte in 30 Perioden von etwa 30 Millionen Jahren, in die drei bis vier heftigere (Peridotit-) Zyklen einzuschalten sind.

Der dritte Abschnitt: „Die Radioaktivität als selbstregistrierende Uhr“. Zunächst zeigt eine Rückschau, wie alle früheren Versuche auf verschiedenen Wegen, aus der einfachen Abkühlungskurve, aus dem Salzgehalt der Meere, aus der Mächtigkeit der Sedimente, aus dem Kohlensäuregehalte der Atmosphäre, sogar aus der phylogenetischen Entwicklung des Lebens, Anhaltspunkte für das Alter der Erde zu gewinnen, völlig beiseite geschoben werden, durch die Schlüsse, die aus dem unbeeinflussbar gleichförmigen Zerfall der radioaktiven Stoffe gezogen werden können. Es kann hier daran erinnert werden, daß Ähnliches fast die ganze umfassende ältere Literatur über das Erdinnere überhaupt betroffen hat. Auch ist sie völlig obsolet geworden durch die aus der physikalischen Erdbebenforschung gewonnenen Hinweise. Solche Erfahrungen können uns zur Warnung dienen, nicht zu viel Mühe und Zeit mit unzureichenden Mitteln und Spekulationen zu verschwenden, die sich früher oder später als unfruchtbare Verschwendung erweisen müssen.

Allerdings sind auch die Ergebnisse dieser Art der Schlußfolgerung nicht so einfach und unbedingt, wie man aus der mathematisch bestimmten Gesetzmäßigkeit, auf die sie sich stützen, vermuten sollte. Das zeigt die scharfe und gründliche Kritik, durch die der Verf. die Schwierigkeiten dieser Untersuchungsmethoden erläutert.

Die Endprodukte des Zerfalles radioaktiver Stoffe, Helium und Blei, werden mit bekannter und unveränderlicher Geschwindigkeit in den uran- und thoriumhaltigen Mineralien angereichert. Ihr Verhältnis zur Muttersubstanz ermöglicht somit die Altersbestimmung. Im Vordergrund der Untersuchungen steht die Bleimethode. Zu beachtende Schwierigkeiten ergeben sich aus der

Möglichkeit, daß die Minerale bei ihrer Bildung schon Blei aufgenommen haben oder daß Blei später abgewandert ist. Einen Anhaltspunkt liefert die Verschiedenheit des Atomgewichtes des gewöhnlichen Blei von dem aus radioaktiven Stoffen abgeschiedenem Blei. In einem sehr ausführlichen Abschnitt wird dargelegt, daß Abwanderung nicht in großem Ausmaße stattgefunden haben kann, und wie die Oxydationsstufe des Uran Möglichkeit bietet, sie abzuschätzen.

Damit werden zugleich auch die Richtlinien gegeben für die Auswahl des zu diesen Bestimmungen zu verwendenden Materiales. Bei eigentlichen Uran- und Thormineralien wird man aus dem Bleiverhältnis nur einen Minimalwert des Alters erschließen können. Wichtiger sind die primären Vorkommnisse von Mineralien mit akzessorischem Uran- und Thorgehalte, die vornehmlich aus Pegmatiten gewonnen werden können. Überhaupt sind die metamikten Minerale, die durch innere radioaktive Strahlung ihre kristallinische Struktur eingebüßt haben, weniger verläßlich, als diejenigen, die mit der Kristallstruktur ihren Uran-, Thor- und Bleigehalt besser bewahren konnten. Eine Reihe von Beispielen derartiger Untersuchungen wird sehr eingehend besprochen. Großordnungen können bestimmt werden, aber es wird vorläufig darauf verzichtet, eine aus diesen Untersuchungen gewonnene Zeittabelle der Formationen zu geben.

Befremdend und noch aufzuklären erscheint zunächst für den Geologen die Angabe, daß Bröggerite in einem und demselben Pegmatitgange ihrer Entstehung nach von ungleichem Alter seien. Ein Rhythmus von rund 85 Millionen Jahren soll sich aus dem Vergleiche verschiedener Stücke ergeben und Extreme sollen um 220 Millionen Jahre voneinander abweichen. Nach verbreiteter geologischer Anschauung ist die Bildung eines Pegmatitganges mit der Auskristallisation der Mineralien abgeschlossen, und neue Minerale können nicht ohne Erneuerung der Gesamtstruktur eingefügt werden.

Den Petrographen interessiert die im Anhang gegebene Darlegung über verschiedene einfache und zusammengesetzte Verfärbungsböfe, in denen die Reichweiten der Strahlungen verschiedener Zerfallsprodukte zu erkennen sind.

Schon aus diesen Angaben über den reichen Inhalt des Buches ist zu ersehen, daß vorläufig eine befriedigende Uebereinstimmung zwischen vielen Ergebnissen der Radiumforschung auf geologischem Gebiete und allgemeinen Vorstellungen über das geologische Geschehen noch nicht herzustellen ist. Dennoch sind die hier entwickelten Gedankengänge unbedingt dem Geistesinhalte der heutigen Geologie anzugliedern. Hypothesen über den Wärmehaushalt und die angebliche Schrumpfung der Erde und über das großtektonische Geschehen überhaupt, sind unvollständig und deshalb wertlos, wenn sie nicht Bezug nehmen auf die radioaktiven Energien des Erdkörpers, und dem Verfasser gebührt vor allem der Dank der Geologen, denen er das schwierige Gebiet in seiner ganzen Ausdehnung auf so übersichtliche Weise zugänglich gemacht hat.

F. E. SUEß.

Georg Berg: Vorkommen und Geochemie der mineralischen Rohstoffe. Einführung in die Geologie und Lagerstättenlehre, besonders für Chemiker und Studierende der allgemeinen Naturwissenschaften. Mit 67 Textabbildungen. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft m. b. H., 1929.

Es ist noch nicht lange her, da lagen nur tastende Versuche zu einer Geochemie vor, wie sie uns durch die Meteoritenkunde, Seismologie und Analysenstatistik und regionale Geologie gegeben waren und so ziemlich in einer Gliederung der Erde, wie Sal, Sima, Nife, gipfelten, die im großen und ganzen