

S o n d e r d r u c k

aus der „Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft“
Band 92, Jahrgang 1940, Heft 7/8

Geochemie und Erdgeschichte

Von K. HUMMEL, Gießen.

Die Fragen der Geochemie können in der Weise behandelt werden, wie die „exakten“ Naturwissenschaften, Chemie und Physik, ihren Forschungsbereich behandeln, d. h. man kann die allgemeinen, chemischen und physikalischen Gesetze zu ermitteln suchen, welche die Verteilung der Elemente in der Erde beherrschen; die geochemische Forschung dieser Art hat enge Berührungspunkte mit der Mineralogie und Gesteinskunde. Sobald man sich jedoch nicht rein auf die Beschreibung des jetzigen Zustandes beschränkt, sondern die Entstehungsweise des Zustandes zu erklären versucht, muß auch der geochemisch arbeitende Mineraloge die Arbeitsweise und Gesichtspunkte der dynamischen Geologie verwenden. Dies zeigt, daß es unrichtig ist, wenn die Mineralogie den Anspruch erhebt, allein für die geochemischen Fragen zuständig zu sein, wie dies SCHNEIDERHÖHN (N. J. f. Min., 1937, II, S. 671) kürzlich getan hat. Es gilt für die Geochemie genau dasselbe wie für die Lagerstättenkunde: es sind Grenzgebiete, auf denen der Geologe nicht ohne mineralogische Methoden, aber auch der Mineraloge nicht ohne geologische Methoden auskommen kann. Jeder Streit über Zuständigkeitsfragen und auch jeder Anspruch auf alleinige Zuständigkeit ist hier völlig fehl am Platze. Nur durch Zusammenarbeit bzw. durch gleichzeitige Anwendung geologischer und mineralogischer Arbeitsweisen, kann die Geochemie „in ihrer vollen und ganzen Breite und Ausdehnung betrieben werden“.

Unentbehrlich ist die Anwendung geologischer Methoden insbesondere dann, wenn die Geochemie sich nicht auf die Feststellung physikalisch-chemischer Gesetzmäßigkeiten beschränkt, sondern wenn man sich die Frage vorlegt, ob diese Gesetzmäßigkeiten in allen Zeiten der Erdgeschichte unverändert geblieben sind. Diese Frage ist von der allergrößten allgemeinen Bedeutung, nicht nur für die Geologie, sondern für die Naturwissenschaften überhaupt; für die Geologie steht oder fällt mit der Beantwortung dieser Frage der viel erörterte Grundsatz des „Aktualismus“¹⁾, und für die Natur-

¹⁾ Ich betone ausdrücklich, daß der „Grundsatz des Aktualismus“ (nämlich die Hypothese, daß die Vorgänge der Gesteinsbildung zu allen Zeiten dieselben gewesen seien wie heute) scharf getrennt werden muß von der aktualistischen oder ontologischen Forschungsweise. Die aktualistische Forschungsweise ist die wesentlichste und durch nichts zu ersetzende Grundlage aller erdgeschichtlichen Forschung, deren Anwendbarkeit über alle Zweifel erhaben ist und die von niemand (auch nicht von BEURLEN) bei den Auseinandersetzungen der letzten Zeit in Zweifel gezogen worden ist; der von LYELL und seinen Nachfolgern in die Geologie eingeführte Grundsatz des Aktualismus dagegen ist eine nach unseren neuen Erkenntnissen unrichtige Hypothese, die jahrzehntelang den Fortschritt der erdgeschichtlichen Forschung gehemmt hat. Die häufige Verkennung des Unterschiedes zwischen den beiden Begriffen hat an der Schärfe der Auseinandersetzung über diese Fragen wesentliche Schuld gehabt.

wissenschaften im allgemeinen handelt es sich dabei um die grundsätzliche Frage, ob physikalische und chemische Gesetze durchweg ewige Dauer haben oder ob sie zeitbedingt sein können.

Wer an die üblichen Gedankengänge der exakten Naturwissenschaften gewöhnt ist, wird die zuletzt berührte Frage unbedingt in dem Sinne beantworten, daß geochemische Gesetze wie alle Gesetze der Physik und Chemie ewige Dauer haben müssen, da sie sonst keine Gesetze wären. Wer jedoch geschichtlich denkt und sich der grundsätzlichen Einmaligkeit aller geschichtlichen Ereignisse bewußt ist, wird nicht ohne weiteres die zeitbedingte Wandlung geochemischer Gesetze für unmöglich halten. Dabei ist zu beachten, daß die meisten sog. geochemischen Gesetze (z. B. die Einteilung der Elemente in lithophile, chalkophile usw. Gruppen) nicht auf wiederholbaren Versuchen, sondern auf Beobachtung und Beschreibung eines in der Natur vorhandenen Zustandes beruhen; sie sind also nicht ohne weiteres mit den auf Versuchsergebnissen beruhenden Gesetzen der Physik und Chemie vergleichbar. Ob somit die Bezeichnung „geochemisches Gesetz“ überhaupt berechtigt ist, bleibt eine offene Frage der Begriffsbestimmung.

Ich will hier nicht näher auf die Frage eingehen, ob nicht auch die auf Versuchsergebnissen beruhenden echten „Gesetze“ der Physik und Chemie zeitgebunden sein können; auch die wiederholbaren Versuche der Physik und Chemie sind grundsätzlich geschichtliche Ereignisse, und wir können nicht unbedingt die Annahme widerlegen, daß in verschiedenen Zeiten dieselben Versuchsbedingungen zu verschiedenen Ergebnissen führen, daß z. B. die chemischen Gleichgewichte anders verteilt wären od. dgl.²⁾ Freilich würden wir, falls wir derartiges tatsächlich feststellen könnten, stets nach der Ursache der veränderten Ergebnisse suchen, und wir würden entweder eine solche „Ursache“ finden, oder wir würden wenigstens eine Hypothese zur Erklärung der veränderten Ergebnisse aufstellen. Dies liegt aber nur daran, daß unser Geist zum Denken in Raum, Zeit und Ursächlichkeit gezwungen ist, eine andere Erfassung natürlicher Zusammenhänge uns also überhaupt unmöglich ist. Wenn durch zeitbedingte Veränderungen die Wiederholung eines bestimmten Versuches unmöglich geworden wäre, so fragt es sich, ob man die aus diesem Versuch abgeleiteten Gesetze noch als bestehend betrachten kann oder nicht. In diesem Sinne ist es denkbar, daß auch die strengen Gesetze der exakten Naturwissenschaften im geschichtlichen Zeitablauf wandelbar sein könnten; damit soll natürlich nicht behauptet werden, daß diese Gesetze wirklich wandelbar sind; wir haben dafür vorläufig keinerlei Beweise.

Für die nicht auf Versuchen beruhenden, sondern nur aus Beobachtung eines Zustandes abgeleiteten Gesetze der Geochemie muß der geschichtlich denkende Geologe bei unvoreingenommener Betrachtung unbedingt mit der Möglichkeit der Veränderung der sog. Gesetzmäßigkeiten im Laufe der Erdgeschichte rechnen. Wollen wir ein Urteil darüber haben, ob derartige Veränderungen tatsächlich eingetreten sind, so dürfen wir bei der Suche nach Gesetzmäßigkeiten der Geochemie die Erdrinde nicht einfach als eine Einheit betrachten, wir müssen vielmehr die Bestandteile der Erdrinde geschichtlich aufteilen und wir müssen nachprüfen, ob die Stoffverteilung in den verschiedenen Zeitabschnitten verschiedenen Verlauf genommen hat.

²⁾ Vgl. auch BUBNOFF, Grundprobleme der Geologie, Berlin 1931, S. 4.

Schon ein ganz roher Überblick über die erdgeschichtliche Formationsfolge ergibt, daß nahezu jede Formation ihre besonderen, gesteinsmäßigen Kennzeichen besitzt, und daß (trotz mancher Ähnlichkeiten in einzelnen Fällen) keine Formation die vollkommen getreue Wiederholung einer älteren Formation darstellt, weder in den Einzelheiten der Schichtenfolge, noch in der Gesteinsbeschaffenheit, und zwar handelt es sich dabei keineswegs nur um räumliche, sondern durchaus auch um stoffliche Unterschiede. In der Bezeichnung der Formationen mit Gesteinsnamen hat diese Tatsache ihren vielsagenden Ausdruck bekommen. Zwar sind wir längst davon abgekommen, die Gesteinsbeschaffenheit an sich als wesentliches Kennzeichen einer Formation zu betrachten; jedoch steckt in den Gesteinsnamen mancher Formationen ein durchaus richtiger Beobachtungskern, der auf der Zeitbedingtheit der gesteinsbildenden Vorgänge beruht, und gesteinsbildende Vorgänge sind im Grunde genommen stets irgendwie Vorgänge der Stoffwanderung, also der Geochemie.

Gehen wir mehr in die Einzelheiten, so zeigen sich erwähnenswerte „Einzelfälle“ besonders bei den selteneren Schichtgesteinen; dies ist begreiflich, da bei den häufigeren Gesteinen (Sandstein, Ton, Kalk usw.) die Unterschiede mehr in den Einzelheiten der Struktur usw. liegen, und diese ist (namentlich bei der Mangelhaftigkeit unserer sediment-petrographischen Benennungen) schwer zu beschreiben und daher auch in ihrer Besonderheit schwerer zu erkennen. Unter den selteneren Schichtgesteinen, die für bestimmte Formationen mehr oder weniger kennzeichnend sind, sei z. B. erinnert an die von BERG (1936, S. 51) erwähnte Häufigkeit von Eisenjaspis u. dgl. im Präkambrium, oder an die Mangan-Sedimente im Tertiär von Südrußland, oder an die eigenartigen Phosphat-Oolithe im nordamerikanischen Perm und an die andersartigen, aber wiederum kennzeichnenden Phosphatlager im Tertiär und der Kreide Nordafrikas und Westeuropas, oder an die von SAMOJLOFF (1922) erörterten Baryt-Einlagerungen im russischen Jura. SAMOJLOFF (1922, S. 239) hat im gleichen Zusammenhang auch die kupferreichen Schichten des Perms angeführt, jedoch hat BERG (1936, S. 16) betont, daß der Kupferreichtum des Perms keine besondere Eigentümlichkeit dieses Zeitalters ist, da Kupfer auch in anderen, klimatisch ähnlich beeinflußten Schichten zu finden ist. Auch gegen die anderen erwähnten „Sonderfälle“ kann man vielleicht bei näherer Untersuchung ähnliche Einwendungen erheben, d. h. man kann Ursachen für die Eigentümlichkeit der Stoffanreicherung herausfinden; dies ändert aber nichts an der Tatsache, daß ein geochemischer „Sonderfall“ vorliegt, d. h. daß es sich um eine Stoffanreicherung handelt, die in der Mehrzahl der sonstigen Formationen und auch unter den heute entstehenden Sedimenten nicht wirklich ist.

Auf Grund eigener, früher veröffentlichter Untersuchungen (HUMMEL, 1921, 1922, 1924, 1931, 1933) möchte ich vor allem auf die sehr eigentümlichen zeitlichen Abwandlungen hinweisen, die sich in der Beschaffenheit der Eisensilikate meerischer Ablagerungen zu erkennen geben. Insbesondere durch Untersuchung der Lichtbrechung dieser grünen Eisensilikate (Glaukonit, Seladonit, Chamosit usw.) konnte gezeigt werden, daß in verschiedenen Zeiten der Erdgeschichte verschiedenartige Silikate dieser Art vorherrschend sind, und zwar entstehen gleiche oder doch sehr

ähnliche Silikate gleichzeitig in durchaus nicht völlig gleichartigen Faziesbereichen, z. B. einerseits auf untermeerischen basischen Eruptivgesteinen, andererseits in rein sedimentären, sandigen oder kalkigen Schelf-Ablagerungen (vgl. die graphischen Darstellungen, HUMMEL, 1931, S. 513 und 527). Manche dieser Eisensilikate sind keine zeitlich völlig einmaligen Bildungen, so finden sich gewöhnliche Glaukonite (Brechungs-Index 1.60—1.63) einerseits im Cambrium, andererseits vom oberen Malm bis jetzt, und die Chamosite (Br.-Ind. 1.63—1.66) sind aus dem Praecambrium, aus Silur und Devon wie auch aus dem mittleren Jura (und nach neuesten Feststellungen von KRUMBECK [1939, S. 107 ff.] auch aus dem Rhät) bekannt. Andere dieser Silikate sind bisher nur aus einem beschränkten zeitlichen Bereich bekannt geworden, so die „Triasglaukonite“ (Brechungs-Index großenteils unter 1.60) nur aus der mittleren Trias, und die sedimentären Leptochlorite mit einem Brechungs-Index über 1.66 nur aus dem Lias und unteren Dogger.

Sicher sind die Möglichkeiten der Untersuchung dieser Eisensilikate und ihrer zeitlichen und räumlichen Verbreitung noch nicht restlos ausgeschöpft; ich bin seit Jahren bestrebt, weiteres Material aus allen Formationen, und insbesondere aus überseeischen Gebieten zu sammeln, und ich bin für jede Unterstützung dieser Sammlung dankbar. Was mir bisher zur Verfügung steht, reicht noch nicht zu neuen Feststellungen. Erwünscht wäre es auch, wenn die in Frage kommenden Mineralien nicht nur nach ihrer Lichtbrechung, sondern auch nach ihren sonstigen (insbesondere röntgenographischen) Eigenschaften näher untersucht würden. Die bisherigen Feststellungen lassen auf alle Fälle eindeutig den Schluß zu, daß in verschiedenen Zeiten das physikalisch-chemische Gleichgewicht für Eisensilikate im Meerwasser nicht völlig gleich geblieben ist. Die „geochemischen Gesetzmäßigkeiten“ für diese Stoffe haben sich also im Laufe der Zeit verändert, Glaukonit-Bildung gab es nicht in allen vergangenen Zeiten, und die Bedingungen der Chamosit-Bildung sind in den heutigen Meeren nirgends verwirklicht.

Fragt man nun nach der Ursache dieser zeitbedingten Verschiebung der geochemischen Verhältnisse, so sind wir im allgemeinen geneigt, zunächst an Klimaschwankungen zu denken, weil uns zeitliche Schwankungen des Klimas mit Sicherheit bekannt sind, und weil wir wissen, daß z. B. in den Verwitterungsvorgängen klare Beziehungen zwischen Klima und Gesteinsbildung bestehen. So hat BERG (1936, S. 16) den Kupferreichtum des Perms rein klimatisch erklärt, und auch ich selbst habe früher (HUMMEL, 1931, S. 529 ff.) in erster Linie Schwankungen des „Meerwasser-Klimas“ für die Unterschiede in den halmyrolytischen Neubildungen verantwortlich gemacht. Jedoch ergeben sich Schwierigkeiten daraus, daß man heute (trotz erheblicher Unterschiede im Klima der Schelfmeere) keine Klimazonen der halmyrolytischen Neubildungen unterscheiden kann, und daß auch für die erdgeschichtliche Vergangenheit bisher nur unsichere Zeichen von Zonenbildung erkennbar sind (vgl. HUMMEL, 1931, S. 530). Ich habe daher im Anschluß an WILSER (1931) an den Einfluß von Schwankungen in der Art der Sonnenstrahlung gedacht, jedoch ergab sich ohne weiteres, daß hier nur eine mittelbare Einwirkung vorliegt, und daß die eigentliche

Ursache der Gleichgewichts-Verschiebungen in physiologischen Vorgängen, d. h. in den Lebewesen zu suchen ist (HUMMEL, 1931, S. 531).

Wir kommen damit zu der Deutung für die zeitlichen Veränderungen in den geochemischen Vorgängen, die grundsätzlich am meisten Wahrscheinlichkeit für sich hat, nämlich zum Einfluß der Lebewesen auf die Vorgänge der Gesteins- und Mineralbildung.

Es entspricht der mechanistischen und materialistischen Auffassung der vergangenen Jahrzehnte, daß man zwar der Beeinflussung der Lebewesen durch ihre physikalische und chemische Umgebung (z. B. dem Einfluß der „Fazies“ auf die Lebewesen) Beachtung schenkte, daß man aber nur selten die Frage aufgriff, ob nicht die innere Beschaffenheit der Lebewesen von entscheidender Bedeutung für die physikalischen und chemischen Vorgänge ihrer Umgebung sein könnte. In letzter Zeit hat sich jedoch mehr und mehr gezeigt, daß die Beziehungen zwischen den Lebewesen und ihrer Umwelt durchaus wechselseitig sind, daß also auch eine sehr erhebliche Beeinflussung der „anorganischen“ Umwelt durch die Lebewesen stattfindet. Zuerst wurde diese aktive Beeinflussung der Umwelt durch die Lebewesen anerkannt einerseits für den Menschen (dessen Wirksamkeit aber noch heute meist nicht als eigentlicher Bestandteil „natürlichen Geschehens“ betrachtet wird), andererseits für die Bakterien, deren Stoffwechselfvorgänge dem anorganischen Geschehen so nahestehen, daß man sie wenigstens in dieser Hinsicht fast mehr zur anorganischen als zur organischen Welt rechnete. Neuere Untersuchungen haben jedoch dargelegt, daß auch sonstige Lebewesen ihre Umgebung aktiv beeinflussen, so daß jetzt sowohl für die Gesteinsbildung im Meer (vgl. z. B. SCHWARZ, 1932) wie auch für die Verwitterungsvorgänge auf den Festländern (vgl. KAISER, 1931 und BEURLIN, 1938) die Abhängigkeit von den Lebenseinflüssen als anerkannt gelten kann.

Besonders bemerkenswert ist der Umschwung der Ansichten in der geologischen Bodenkunde: während man früher die Verwitterung und Bodenbildung als wesentlich anorganischen Vorgang betrachtete und annahm, daß der Pflanzenwuchs von der Bodenbeschaffenheit (Bodenart und Bodentypus) abhängig sei, hat sich neuerdings die Ansicht durchgesetzt, daß der Bodentypus innerhalb gewisser Grenzen durch die Pflanzengesellschaft bedingt ist, so daß auf gleichem Untergrund und unter gleichen klimatischen Bedingungen verschiedene Bodentypen entstehen können, wenn die Pflanzengemeinschaft verschieden ist. Neben der Einwirkung der Pflanzen muß auch die Einwirkung der Tiere auf die Bodenbildung berücksichtigt werden; fällt die Mitwirkung der Termiten, der Ameisen, der Regenwürmer usw. weg, so wird sich offenbar der Vorgang der Bodenbildung gegenüber dem heutigen Zustand erheblich verändern.

Verbinden wir diese Erkenntnis vom Einfluß des Lebens auf die Gesteinsbildung und Gesteinsumwandlung mit den oben erörterten Feststellungen über den zeitlichen Wechsel der geochemischen Vorgänge, so ergibt sich zwanglos eine Erklärung für diese geschichtliche Wandlung der geochemischen „Gesetzmäßigkeiten“; denn die geschichtliche Wandlung der Lebensformen ist für uns eine selbstverständliche, völlig unbestrittene Tat-

sache, und wenn die Lebensformen wechseln, so ist es wahrscheinlich, daß damit auch ein Wechsel in den Beziehungen zwischen Gesteinsbildung und Lebensvorgängen verbunden ist. Der geschichtliche Ablauf des Lebens bedingt zugleich einen geschichtlichen Ablauf der lebensbedingten Stoffwandlungen und berechtigt uns dazu, von einer „historischen Bio-Geochemie“ zu sprechen.

Es ist grundsätzlich naheliegend, aus dieser Feststellung den Schluß zu ziehen, daß alle erdgeschichtlichen Wandlungen der geochemischen „Gesetzmäßigkeiten“ irgendwie mit Lebensvorgängen zusammenhängen, auch dann, wenn wir die Beziehungen zwischen den Vorgängen der Mineralbildung und den Lebenserscheinungen noch nicht klar erkennen und belegen können. Auf einer derartigen Verallgemeinerung beruht das, was oben über die Entstehungsbedingungen der meerischen Eisensilikate gesagt wurde. Eine ähnliche Schlußfolgerung ist es auch z. B., wenn EASTON (1938) den erdgeschichtlichen Wechsel von Methan- und Naphthen-Ölen durch Veränderungen in der Pflanzenwelt erklärt. Diese Art von Schlußfolgerung findet eine gewisse Begründung oder Berechtigung darin, daß wir deutlich erkennbare geschichtliche Wandlungen der geochemischen Verhältnisse bisher nur im Bereich des sedimentären Stoffkreislaufes kennen, also bei den Vorgängen, die sich in der „Biosphäre“, im Bereich des Lebens abspielen, während Wandlungen der geochemischen Vorgänge im Bereich des vulkanischen und metamorphen Stoffkreislaufes bisher nicht deutlich erkennbar geworden sind.

Vielleicht beruht diese Beschränkung der geschichtlichen Wandlungen auf den sedimentären Stoffkreislauf nur auf Mängeln unserer Beobachtungen oder darauf, daß die Möglichkeit geschichtlicher Wandlungen auf den anderen Gebieten bisher grundsätzlich außer acht gelassen wurden; denn an sich wissen wir, daß es nicht nur eine Geschichte des Lebens, sondern auch eine Geschichte der sonstigen, d. h. nicht-lebendigen (oder besser nicht-organismischen) Erde gibt, und wie oben schon dargelegt wurde, müssen wir bei unvoreingenommener Betrachtung durchaus mit der Möglichkeit rechnen, daß es auch außerhalb des Lebensbereiches Wandlungen des geochemischen Geschehens geben kann. Neben den Klimaschwankungen, die auf den Bereich der „Biosphäre“ beschränkt sind, kennen wir zeitliche Veränderungen der vulkanischen und tektonischen Erscheinungen, also der inneren Lebensäußerungen des Erdballes, und es ist durchaus naheliegend, anzunehmen, daß auch damit Wandlungen des geochemischen Geschehens zusammenhängen; manche Vorgänge, die hierher gerechnet werden können, sind uns grundsätzlich schon bekannt, nämlich die Veränderung der Magmen-Beschaffenheit im Zusammenhang mit der tektonischen Entwicklung. Wir sind gewöhnt, in diesen Erscheinungen rhythmische, d. h. gesetzmäßig wiederkehrende Vorgänge zu erblicken. Jedoch darf nicht übersehen werden, daß auch in der geschichtlichen Entwicklung des Lebens manches bei oberflächlicher Betrachtung als rhythmische Wiederkehr gedeutet werden könnte (z. B. der Wechsel von Zeiten rascher Entfaltung mit Zeiten langsamer Weiterentwicklung, oder die Wiederholung der allgemeinen Körperformen der mesozoischen Reptilien durch die tertiären Säugetiere usw.) und

doch wissen wir, daß es sich bei der Entwicklung des Lebens nicht um einen wirklichen, sich wiederholenden Rhythmus, sondern um ein geschichtliches Fortschreiten handelt. Es ist daher durchaus naheliegend, anzunehmen, daß auch die innere Entwicklung der Erde kein wirklicher Rhythmus, sondern ein echt geschichtliches, nicht sich wiederholendes Fortschreiten ist; dies muß dann auch in einer Wandlung der geochemischen Vorgänge seinen natürlichen Ausdruck finden. Wenn uns dies bisher nur wenig zum Bewußtsein gekommen ist, so liegt dies nur daran, daß die sog. „allgemeine Geologie“ zu sehr von der völlig geschichtslosen Betrachtungs- und Arbeitsweise der Physik und Chemie ausging. Freilich können wir diese Gesetze der Physik und Chemie nicht entbehren, sie sind ein wichtiger Bestandteil der „aktualistischen Arbeitsweise“; ihre unveränderliche Geltung zu allen Zeiten darf jedoch nicht von vornherein zum Grundsatz erhoben werden, vielmehr ist es unsere Aufgabe als Erforscher der Geschichte der Erde festzustellen, ob Anzeichen für Veränderungen dieser Gesetze irgendwo nachweisbar sind, oder ob dies nicht der Fall ist. Wir wollen nicht vergessen, daß erst zu Anfang des vorigen Jahrhunderts durch die Feststellungen der Geologie und Palaeontologie die Ansicht von der Unveränderlichkeit des Lebens auf der Erde gestürzt wurde. Warum soll die geschichtliche Betrachtungsweise der Geologie auf dem Gebiet der nicht-biologischen Naturwissenschaften nicht schließlich zu ähnlichen Erkenntnissen führen, wie sie auf dem Gebiet der Lebensgeschichte im Laufe des vorigen Jahrhunderts erreicht worden sind?

Vorläufig müssen freilich derartige Vermutungen über die zeitliche Veränderlichkeit der Gesetze von Physik und Chemie als ketzerisch und phantastisch erscheinen, genau so wie zu Zeiten LINNÉ's die Vermutungen über die Veränderlichkeit der Arten ketzerisch erschienen sind. Wir haben vorerst keine Beweise für die Veränderlichkeit der physikalischen und chemischen Vorgänge, aber so lange uns nicht zum Bewußtsein kommt, daß die Unveränderlichkeit dieser Gesetze an sich eine unbewiesene Voraussetzung ist, so lange können wir auch nicht erwarten, daß uns die erdgeschichtliche Forschung Grundlagen für die Beantwortung dieser Fragen liefern wird.

Auf dem Gebiete des Lebens hat die von der Geologie ausgehende geschichtliche Betrachtungsweise seit hundert Jahren gesiegt; deshalb ist auf dem Gebiete der Beziehungen von Lebensvorgängen und Stoffumsetzungen auch am meisten Aussicht dafür vorhanden, geschichtliche Wandlungen der geochemischen Vorgänge zu erkennen. Freilich gilt es auch auf diesem Gebiete zunächst noch, sich frei zu machen von dem mechanistisch-materialistischen Gedanken, daß das Anorganische stets das Ursprüngliche und Ursächliche sei. Wenn BERG (1936, S. 25) sagt, daß der Anreiz zur organogenen Konzentration eines Stoffes jeweils von der anorganischen Natur ausgeht, und daß die organische Welt sich sozusagen parasitär in einen Prozeß einschaltet, der auch ohne sie irgendwie zum Ablauf kommen würde, oder wenn HERLINGER (nach BERG, 1936, S. 44) das Leben als „ein Intermezzo des Kreislaufes des Kohlenstoffes im Verwitterungsbereich“ bezeichnet, so ist dies rein materialistisch-anorganisch gedacht, und diese Denkweise wird der ewigen, untrennbaren Verknüpfung zwischen dem Leben und den

sonstigen Vorgängen der Biosphaere nicht gerecht. So ist z. B. chemische Verwitterung ohne Mitwirkung von Leben praktisch in der Natur nicht vorhanden, denn es gibt keine chemische Verwitterung ohne Wasser, und wo in der Natur Wasser vorhanden ist, da ist so gut wie immer auch Leben. Wir können zwar im Laboratorium „sterile“ Mineralzersetzung beobachten, die wirklichen chemischen Verwitterungsvorgänge in der Natur sind dagegen praktisch immer irgendwie mit Lebensvorgängen verbunden. Das Leben ist also nicht nur nebenbei in die natürlichen Vorgänge eingeschaltet, es ist nicht nur ein Intermezzo im Verwitterungsbereich, sondern der natürliche Verwitterungsbereich in seinem jetzigen Zustande ist durch und durch vom Leben beeinflusst. Freilich können wir uns eine lebensfreie Erdoberfläche vorstellen, aber ob es derartiges in der Vergangenheit gegeben hat, ist nicht feststellbar; wahrscheinlicher ist, daß stets Leben vorhanden war, seit es eine „Erdoberfläche“ gibt, nur war es in verschiedenen Zeiten verschiedener Art. Selbst in dem erdgeschichtlich nicht mehr erforschbaren „Sternzeitalter“ der Erde mag es Vorgänge gegeben haben, die grundsätzlich dem heutigen Leben vergleichbar sind, wenn auch die chemische Zusammensetzung der belebten Körper bei höheren Temperaturen anderer Art gewesen sein muß. Wir haben bisher eine viel zu schroffe Scheidewand zwischen dem „Leben“ und der „anorganischen Natur“ aufgerichtet; tatsächlich besteht diese Scheidewand nur in unseren Köpfen und nicht in der Wirklichkeit. Wie fließend die Grenzen zwischen belebter und unbelebter Natur sind, das konnte uns in neuester Zeit durch die Entdeckung der „kristallisierten Virus-Arten“ wieder besonders zum Bewußtsein kommen (vgl. SCHRAMM, 1938). Die Natur ist eine Einheit, und das Leben ist ein wesentlicher Bestandteil dieser Natur, zum mindesten in der „Biosphaere“, also in dem Teil des Weltalls, in dem sich unser Leben und unsere Forschungsarbeit abspielt.

Heben wir in dieser Weise die Scheidewand zwischen der belebten und „unbelebten“ Natur auf, so ist anzunehmen, daß grundsätzlich dieselben „Spielregeln“ für die belebte und die „unbelebte“ Natur Geltung haben, und dann müssen wir nicht nur für das Leben, sondern auch für die unbelebte Natur eine geschichtliche Entwicklung annehmen; diese geschichtliche Entwicklung der „unbelebten“ Natur muß in Wandlungen der geochemischen Gesetzmäßigkeiten am leichtesten erkennbar werden.

So sehen wir, daß die Geochemie berufen ist, uns in Zukunft die Antwort auf ganz grundsätzliche Fragen von weltanschaulicher Bedeutung zu geben; allerdings ist die Geochemie dazu nur dann in der Lage, wenn die rein beschreibende, ungeschichtliche Betrachtungsweise abgelöst und ergänzt wird durch die geschichtliche Betrachtungsweise, die das wesentliche Kennzeichen der Geologie ist. Unter allen Naturwissenschaften ist einzig nur die Geologie eine historische Wissenschaft; die anderen Naturwissenschaften können nur dann zu geschichtlichen Ergebnissen kommen, wenn sie mit geologischen Methoden arbeiten und die Ergebnisse der Geologie verwerten.

Die geschichtlichen Betrachtungsweisen und Ziele haben zur Folge, daß die Geologie bei den anderen, insbesondere bei den sog. exakten Naturwissenschaften in den Ruf gekommen ist, eine mit ungenauen Methoden arbeitende Wissenschaft zu sein. Es ist richtig, daß bei der erdgeschichtlichen Betrachtungsweise des Geologen niemals die Genauigkeit der exakten Naturwissenschaften erreicht werden kann, und daß „Hypothesen und Gedankenspinste“ sich nicht immer ganz vermeiden lassen (vgl. BEURLEN, 1938, S. 372). Der ungeschichtlich-mechanistisch denkende Naturforscher wird dieser Arbeitsweise des Geologen fremd und ablehnend gegenüberstehen; wir Geologen erblicken jedoch in dieser geschichtlichen Betrachtungsweise die besondere Stärke und Leistungsfähigkeit unserer Wissenschaft. Freilich müssen die erwähnten Hypothesen und Gedankenspinste ihre Ergänzung und ihre Grundlage darin finden, daß bei der Einzeluntersuchung mit möglicher Genauigkeit alle Mittel der exakten und beschreibenden Naturwissenschaften angewandt werden. In der Erforschung der Geschichte des Lebens hat unsere Wissenschaft im vergangenen Jahrhundert ihre allgemeine Brauchbarkeit, ja, ihre grundsätzliche Überlegenheit gegenüber den anderen Naturwissenschaften erwiesen. Ob die geschichtliche Betrachtungsweise auch für die nichtbiologischen Naturwissenschaften sich fruchtbar erweisen wird, dies wird wesentlich davon abhängen, ob es gelingt, Geochemie und Erdgeschichte zueinander in die richtige Beziehung zu bringen. Anregungen dazu zu geben, war der wesentliche Zweck dieses Vortrages.

Schriftenverzeichnis.

Neben den im Text angeführten Arbeiten sind auch einige sonstige Arbeiten genannt, die mit den behandelten Fragen Berührungspunkte aufweisen.

BERG, G.: Das Leben im Stoffhaushalt der Erde. — Leipzig 1936.

BEURLEN, K.: Die Bedeutung der organischen Entwicklung für die Erdgeschichte. — Nova Acta Leopoldina, N.F., 5, S. 369—391. Halle 1938.

EASTON, N. W.: Gedachten en studies over petroleum en asfalt. III. Samenstelling der aardolien. B. De methanen. — Geol. u. Mijnb., 16, S. 99—103, s'Gravenhage 1938.

(Zitiert nach N. Jb. f. Min., 1938, II, S. 710.)

HERLINGER, E.: Über die neue Entwicklung der Geochemie. — Fortschritte d. Mineralogie usw. 12, S. 253—336. Berlin 1927.

HUMMEL, K.: Über die Entstehungsweise von marinen Eisenoolithen und Roteisensteinen. — „Metall und Erz“ 18 (N.F. 9), S. 577—579. Halle 1921.

—: Die Entstehung eisenreicher Gesteine durch Halmyrolyse. — Geol. Rdsch. 13, S. 40—81, 97—136. Berlin 1922.

—: Zur Frage der Entstehungsweise von Eisensilikaten und Roteisensteinen. — Centralbl. f. Min. usw., 1924, S. 679—686. Stuttgart 1924.

—: Grünerden Südtirols und sonstige halmyrolytische Eisensilikate. — Chemie der Erde 6, S. 468—551. Jena 1931.

—: Das Problem der Halmyrolyse und seine Bedeutung für die Bildung von Erzlagerstätten. — 14. Ber. d. Freiburger Geol. Ges., S. 22/23. Freiberg/Sa. 1933.

KAISER, E.: Die Grundsätze des Aktualismus in der Geologie. — Z.D.G.G. 83, S. 389 bis 407. Berlin 1931.

KRUMBECK, L.: Das Rhät in Nordwestfranken. — Sitz.-Ber. d. phys.-med. Soz. zu Erlangen 71, S. 1—130. Erlangen 1939.

- SAMOJLOFF, J.: Palaeophysiologie (Palaeobiochemie) und ihre geologische Bedeutung. — Z. D. Geol. Ges. **74**, S. 227—244. Berlin 1922.
- : Die Evolution des Mineralbestandes des Skelettes der Organismen. — Zentr.-Bl. f. Min. usw., Jg. 1924, S. 594—607. Stuttgart 1924.
- SCHRAMM, G.: Über kristallisierte Virusarten. — „Der Biologe“ **7**, S. 330—332. München-Berlin 1938.
- SCHWARZ, A.: Der tierische Einfluß auf die Meeressedimente. — Senckenbergiana **14**, S. 118—172. Frankfurt 1932.
- VERNADSKY, W.: Über die geochemische Energie des Lebens in der Biosphaere. — Zentralbl. f. Min. usw., Jg. 1928, B, S. 583—594. Stuttgart 1928.
- : Geochemie in ausgewählten Kapiteln. — Leipzig 1930.
- WILSER, J. L.: Lichtreaktionen in der fossilen Tierwelt. — Berlin 1931.

(Urschrift eingegangen am 24. 4. 1939.)