

Kernoberfläche bewege. Dadurch wird verständlich, daß in diesem Falle das Volumen der Kernladung nicht sehr stark vergrößert wird. Erst ein Neutronenpaar wird richtig ins Innere des Kerns aufgenommen. Man kann diese Regel auf Grund der Sättigungseigenschaften der Kernkräfte plausibel machen.

Schließlich weist die recht große Häufigkeit von (γ, p) -Prozessen, wie sie sich aus den Versuchen von WÄFFLER¹ ergeben, ebenfalls darauf hin, daß unter Umständen einzelne Nukleonen nicht allzu stark ans Kernganze gekoppelt sein können.

Es ist nun allerdings kaum möglich, diese Erscheinungen im Rahmen unserer jetzigen Theorie befriedigend rechnerisch zu erfassen. Nicht nur fehlen hiezu vertrauenerweckende Grundlagen, sondern es handelt sich wohl überhaupt um sehr verwickelte Vorgänge. Deshalb scheinen sie mir auch nicht der geeignete Ausgangspunkt, um der Theorie zur Weiterentwicklung zu verhelfen.

Offenbar fehlen uns gewisse grundsätzliche, neue Gesichtspunkte, die dazu dienen könnten, den der jetzigen Theorie zugrunde liegenden Dualismus von Kraftfeldern und diese erzeugenden Quellen zu überwinden. Diese Unterscheidung verliert ja offenbar jeden Sinn, sobald es unmöglich wird, ein Feld wenigstens prinzipiell mit Hilfe von Probekörpern auszumessen. Das tritt dann ein, wenn die Raumgebiete, in welchen der Feldverlauf gemessen werden soll, kleiner werden als die Gebiete, in welchen die Probekörper gemäß den Unschärferelationen noch lokalisiert werden können. Die Probekörper sind nun die Nukle-

onen und diese lassen sich mit einer Genauigkeit, die ihrer Compton-Wellenlänge entspricht, lokalisieren. Diese Länge ist von der Größenordnung 10^{-14} cm, das ist etwa 10mal kleiner als die Atomdimensionen. Es ist bemerkenswert, daß der Begriff des Potentialverlaufs im Innern eines Atomkerns eine ähnlich begrenzte Gültigkeit zu haben scheint wie die unrelativistische Näherung in diesem Gebiet.

Auf Grund dieser Überlegungen ist es denkbar, daß Streuversuche von Neutronen in Wasserstoff mit Energien von 10–20 keV schon nicht mehr im Rahmen der heutigen Vorstellungen gedeutet werden können, so daß also bei genügender Meßgenauigkeit solche Versuche eine prinzipielle Bedeutung gewinnen. Die bis heute vorliegenden Experimente verschiedener Autoren sind aber noch nicht untereinander im Einklang, so daß eine Entscheidung vorläufig nicht möglich ist.

Summary

The present theory of nuclear forces is very inconsistent. But as far as relativity effects can be neglected it seems that the meson theory gives a fairly good first approximation. In this case, where we obviously do not need a real field theory, we are able to understand at least the general features shown by lighter nuclei.

The heavy nuclei are in many respects well described by the "liquid droplet model". But there are certain instances where, contrary to this model, one nucleon seems to a certain degree independent of the rest of the nucleus.

The general impression of the present situation is that in the theory of nuclear structures the notion of force has about the same limitation as the non-relativistic theory.

¹ WÄFFLER, Helv. phys. Acta 19, 425 (1946).

Die prägeologische Pneumatosphäre und ihre Bedeutung für die geologischen Probleme der Gegenwart

Von A. RITTMANN¹, Neapel

Schon seit geraumer Zeit kam der Verfasser zur Überzeugung, daß viele geologische und insbesondere petrographische und geochemische Probleme der Lösung nähergebracht werden, wenn man vorerst Be trachtungen über die prägeologische Entwicklung anstellt mit dem Ziel, die Ausgangsbedingungen und damit die primären Ursachen des späteren geologischen Geschehens zu ergründen. Wie sich der Verfasser die prägeologische Entwicklung vorstellt, geht aus seinen früheren Arbeiten und insbesondere aus der Gemeinschaftsarbeit mit W. KUHN hervor. Dieser Forscher hat

seither weitere wichtige Beiträge zur Lösung dieses Problems veröffentlicht¹.

Im vorliegenden Aufsatz sei nun besonders die Bildung und Natur der ersten Atmosphäre, die wohl besser als *Pneumatosphäre* zu bezeichnen ist, und der ersten Erstarrungskruste und deren prägeologische Umformung behandelt, woraus sich neue Gesichtspunkte für das Verständnis der Granitbildung und der Entstehung und Verteilung der Gesteins- und Erzprovin-

¹ A. RITTMANN: Geol. Rdsch. 30, 52 (1939). — W. KUHN und A. RITTMANN, Geol. Rdsch. 32, 215 (1941). — W. KUHN, Naturw. 30, 689 (1942). — A. RITTMANN, Vulcani, attività e genesi. Napoli, E.P.S.A., 1944. — W. KUHN, Exper. 2, 391 (1946).

zen ergeben. Unzweifelhaft steht heute das Problem der Granitbildung wieder im Mittelpunkt des Interesses und wird von «Magmatikern» und «Migmatikern», von «Liquidisten» und «Solidisten» eifrig diskutiert¹, wobei der Streit oft mehr um Benennungen als um das Wesentliche geht. Der Standpunkt des Verfassers ist kurz gefaßt folgender: Das olivinbasaltische, subkrustale Stammagma kann durch Differentiation keine granitische Restschmelze liefern, sondern nur eine trachytische oder phonolithische. Granitmagma kann dagegen entstehen, wenn sialische Gesteine teilweise oder völlig eingeschmolzen werden oder wenn durch sialisches Material verunreinigtes Basaltmagma einer vollständigen Kristallisationsdifferentiation unterliegt². Granite entstehen durch Kristallisation solcher palingenen Magmen oder der Restschmelzen differenzierter syntektischer oder hybrider Magmen. Gewisse Granite können aber auch durch Metamorphose unter Stoffzufuhr («Granitisation») aus sandigen und tonigen Sedimenten entstehen. Für alle diese Bildungsarten des Granits ist aber das Vorhandensein sialischer Gesteine eine notwendige Voraussetzung. Gegen diese Auffassung wurde geltend gemacht, daß sie das Problem der Granitbildung nur in die Vergangenheit verlege, aber nicht löse, solange nicht nachgewiesen werde, wie das erste Sial entstanden sei. Es wird dann noch behauptet, daß dieses nur durch Differentiation des Urmagmas entstanden sein könne, und daß deshalb kein Grund vorhanden sei, für die geologischen Zeiten eine analoge Entstehung der Granite anzuzweifeln. Die folgenden Ausführungen dürften diesen Einwand wohl vollständig entkräften, indem für das erste Sial eine nichtmagmatische Herkunft nachgewiesen wird³.

Die Differentiation der Uerde begann sofort nach der Isolierung der Solarmateriemasse, aus der sich die Erde entwickelte, mit dem Verlust ungeheurer Mengen von Wasserstoff und von anderen leichten Elementen (insbesondere von leicht ionisierbaren, wie Alkalien und Magnesium), die im Schwerfeld des werdenden Planeten nicht zurückgehalten werden konnten. Mit sinkender Temperatur nahmen diese Verluste rasch ab und beschränkten sich auf die leichtesten Elemente. Auch heute noch entweicht eine kleine Menge von Wasserstoff aus den höchsten Lagen der Atmosphäre in den Weltraum.

Infolge der Abkühlung, des Massenverlustes und der passiven Anreicherung von relativ schweren Elementen in den äußeren Schichten entstanden heftige Konvektionsströmungen, die immer neue Gasmassen aus tieferen in höhere Lagen beförderten, wo die Verluste an den Weltraum möglich waren, um die schw-

¹ Vgl. einleitende Abschnitte in: L. CLANGEAUD, Exper. 3, 58 (1947).

² Siehe Tafel V (Schema delle linee fondamentali della petrogenesi) in: A. RITTMANN, Vulcani, attività e genesi. Napoli 1944.

³ Die frühere Ansicht des Verfassers (Geol. Rdsch. 1939) ist durch die vorliegende Ausführung als überholt zu betrachten.

rer gewordenen Massen dann wieder in die Tiefe sinken zu lassen. Diese Vorgänge hatten ein Anwachsen der Viskosität, insbesondere in mittleren Tiefen zur Folge, wodurch dort die Konvektionsströmungen gehemmt wurden. Ihr Tiefgang verringerte sich, und schon frühzeitig blieb der Erdkern außerhalb ihres Wirkungsbereichs und konnte deshalb seine Eigenart als teilweise «entgaste» Solarmaterie bewahren, die sich auch heute noch in superkritischem Zustand befindet.

Die rasche Abkühlung der äußeren Teile der Uerde führte zur Kondensation der schwerflüchtigen Bestandteile, die Tropfen bildeten und im Schwerfeld absanken. Dabei gerieten sie bald in so heiße Zonen, daß sie wieder verflüchtigt wurden. Durch Konvektionsströme in die Höhe verfrachtet, kondensierten sie sich wieder, sanken aufs neue ab und wurden wieder verflüchtigt. Durch diese Vorgänge wurde die Abkühlung beschleunigt, und die sich rasch vermehrende flüssige Phase bildete bald eine zusammenhängende Schale zwischen dem gasförmigen Erdinnern und der äußeren Pneumatosphäre.

Die Natur dieser Schale ergibt sich aus mehreren konvergierenden Folgerungen. Ausgehend von der durch RUSSELL spektralanalytisch annähernd ermittelten Zusammensetzung der Solarmaterie ergibt sich, unter Berücksichtigung der eingetretenen Verluste an leichten Elementen, daß diese flüssige Schale in der Hauptsache aus Silikaten bestehen mußte, und zwar vorwiegend aus solchen des Magnesiums und untergeordnet aus Eisensilikaten und Alumosilikaten des Kalziums und der Alkalien. Überdies muß diese Schmelze, dem auf ihr lastenden Druck der Pneumatosphäre entsprechend, leichtflüchtige Bestandteile, vor allem Wasser und Wasserstoff, in molekular-disperser Form enthalten haben. Das ist aber eine Zusammensetzung, die etwa derjenigen eines olivinbasaltischen Magmas entspricht. Auf Grund der geologischen Tatsachen rückwärts folgernd, kommen wir zum Schluß, daß die erste flüssige Schale eine dem heutigen, olivinbasaltischen subkrustalen Magma analoge Zusammensetzung aufgewiesen haben muß. Der Grund, warum anzunehmen ist, daß das Urmagma keine wesentliche Veränderung erlitt und somit dem heutigen subkrustalen Magma entsprechen mußte, ist folgender: Die Geschwindigkeit der Konvektionsströmungen ist umgekehrt proportional zur Viskosität:

Solange also die Viskosität niedrig war, sorgten kräftige Konvektionsströmungen für eine dauernde Durchmischung der Massen; als sie infolge der Abkühlung, Entgasung und Druckerhöhung anstieg, wurde die durchmischende Wirkung der Konvektionsströmungen zwar kleiner, aber die hohe Viskosität verhinderte dann ihrerseits das Absinken der ausgeschiedenen Kristalle und die damit zusammenhängende Differentiation des Magmas. Die einzige Veränderung, die stattfinden konnte, ist die durch die Konvektionsströme begünstigte Entgasung des Magmas. Durch

sie wird im Laufe der Zeit die Silikatschmelze nicht nur ärmer an eigentlichen Gasen (Wasserdampf, Wasserstoff), sondern auch an den mit den Gasen abdestillierenden, «gastransportfähigen» Substanzen, wie z. B. Chloride der Alkalien. Unter Berücksichtigung dieser langsam veränderungen können wir also schließen, daß das prägeologische Magma gasreicher war als das heutige subkrustale und überdies etwas mehr Alkalien enthielt. Ein solches Magma konnte aber durch komplexe Kristallisationsdifferentiation – wenn eine solche unter besonders günstigen lokalen Bedingungen überhaupt stattfand – keine granitische Restschmelze liefern, noch weniger als das heutige subkrustale Magma, das erfahrungsgemäß dazu nicht imstande ist. Wir müssen also schließen, daß der Granit nicht ein Differentiationsprodukt des Urmagmas sein kann und daß die ersten granitischen Gesteine und das erste Sial auf eine ganz andere Weise entstanden sein müssen.

Unter der Magmaschale folgte eine Masse hochkomprimierter Gase, deren Zusammensetzung bis zu größeren Tiefen aus den obenerwähnten Gründen derjenigen des Magmas praktisch gleich sein mußte, abgesehen von einem mit der Tiefe zunehmenden Gehalt an Wasser und Wasserstoff. Wir dürfen uns daher die Magmaschale nicht als einen ruhigen Ozean glutflüssiger Silikatmassen vorstellen. Die immer weiter fortschreitende, durch Konvektionsströme begünstigte Entgasung des Erdinnern, die auch heute noch im Vulkanismus ihren Fortgang manifestiert, hielte die Magmamassen in dauernder Bewegung und verhinderte dadurch, auch während der folgenden Phase der Krustenbildung, jegliche gravitative Kristall-differentiation.

Über der Magmaschale lagerte eine gewaltige Gasfülle, die *Pneumatosphäre*. Sie bestand in der Hauptsache aus Wasser im superkritischen Zustand, dem erheblichen Mengen von Stickstoff, Wasserstoff, Kohlensäure, Salzsäure und vielerlei Chloride und Fluoride usw. beigemengt waren. Der Belastungsdruck, den die Pneumatosphäre auf die Magmaschale ausübte, mußte über 400 atm betragen haben, während die Temperatur in den unteren Teilen über 1000° C betrug. Die Pneumatosphäre hatte also die Eigenschaften einer pegmatitisch-pneumatolytischen Lösung und war demnach imstande, erhebliche Mengen von Verbindungen der pneumatophilen Elemente in molekulardisperser Form aufzunehmen¹. Die Durchgasung

der Magmaschale entfernte die gastransportfähigen Elemente und Verbindungen z. T. fast vollständig aus dem Magma und verfrachtete sie in die Pneumatosphäre, die ihrerseits in ihren höchsten Lagen immer noch erhebliche Mengen von Wasserstoff an den Weltraum abgab.

Der gewaltige Differentiationsprozeß, der mit der Kondensation der schwerflüchtigen Bestandteile begann, führte also *gleichzeitig* zur Bildung der Magmaschale und der Pneumatosphäre. Trotz des soeben erwähnten Zuwachses, den die Pneumatosphäre durch die Entgasung des Erdinnern und die Durchgasung des Magmas erhielt, darf man sie nicht als ein magmatisches Differentiat bezeichnen. In ihrer Hauptmasse ist sie der gasförmige Rückstand der durch Kondensation und Seigerung an schwerflüchtigen Substanzen verarmten Solarmaterie, die schon vorher den größten Teil ihres Wasserstoffs usw. an den Welt Raum verloren hatte.

Im Verlauf der weiteren Abkühlung begann die Magmaschale von oben her zu erstarren. Die ersten Kristalle sanken ab, wurden aber sogleich wieder eingeschmolzen. Konvektionsströme brachten diese Schmelzen wieder nach oben, wo nach Gasabgabe erneute Kristallisation einsetzte. Schließlich bildete sich ein schwimmender Kristallbrei der zu zusammenhängenden, immer wieder zerstückelten Schollen erstarrte, aus denen sich aber endlich doch eine einheitliche Kruste bildete, die ihrer chemischen Zusammensetzung nach wie das Magma olivinbasaltischen Charakter aufwies. Man kann daher von einer *simatischen Kruste* sprechen. In Anbetracht der langsamen Abkühlung und des hohen Wasserdampfdrucks dürfte dieses Sima den petrographischen Charakter eines Hornblendeperidotits aufgewiesen haben. Solange die Temperatur in orthomagmatischen Grenzen blieb, konnte die chemisch sehr aktive Pneumatosphäre die Simakruste nicht angreifen.

Als die Temperatur der Pneumatosphäre unter etwa 800° C sank, nahm das Lösungsvermögen der Gase für Kieselsäure und Alumosilikate rasch ab, und diese mußten sich als Quarz, Feldspäte und Glimmer abscheiden. So entstand über der Simakruste eine *pegmatitische Oberkruste*, die ihrerseits, während des Absinkens der Temperatur auf etwa 400° C von pneumatolytischen, vorwiegend aus Quarz bestehenden Ablagerungen bedeckt wurde. Man muß sich diese pegmatitisch-pneumatolytische Krustenbildung als einen die ganze Erde umspannenden Vorgang vorstellen, darf aber daraus nicht schließen, daß eine völlig einheitliche Schale von kieselsäurereichem granitaplitischem Chemismus entstand. Vielmehr ist anzunehmen, daß der damals noch außerordentlich heftige simatische Vulkanismus in zahlreichen Eruptionen olivinbasaltische Magmen förderte, die sich als Gänge, Lagergänge und Ströme der pegmatitischen Kruste ein- und auflagerten. Es muß ferner darauf

¹ Als pneumatophile Elemente bezeichnet der Verfasser diejenigen, die sich in den pegmatitischen, pneumatolytischen und hydrothermalen Lösungen anreichern und dem Gastransport besonders stark unterworfen sind. Zu ihnen gehören die chalkophilen Elemente Cu, Zn, Pb, Ag, Hg, Au; S, As, Sb, Bi, Se, Te usw. sowie ein Teil der lithophilen Elemente wie Sn, W, Th, U, Nb, Ta, Zr, Ba, Sr, Be, Li; F, Cl, B, die seltenen Erden und die radioaktiven Elemente der Zerfallsreihen von U, Th und Ac. Auch die ausgesprochen lithophilen Elemente O, Si, Al, Fe, Mg, Ca, K und Mg weisen pneumatophile Tendenzen auf und nehmen am Aufbau der Pneumatosphäre teil.

hingewiesen werden, daß besonders im pneumatolytischen Anteil dieser Oberkruste überall in geringen Mengen seltene Mineralien abgesetzt wurden, an deren Bestandteilen die Pneumatosphäre unter den jeweils herrschenden Bedingungen übersättigt war. Vor allem sind die Erze Zinnstein, Wolframit, Molybdänit, Uranpecherz und wohl auch etwas Arsenkies, Kupferkies und Gold zu nennen, während die Verbindungen von Blei, Zink, Silber, Quecksilber u. a. vorerst noch in Lösung blieben.

Endlich führte die fortschreitende Abkühlung zur Kondensation des Wassers. Diese begann in den höheren Lagen der Pneumatosphäre mit Wolkenbildung. Die heißen Regen konnten natürlich vorerst die Erdkruste nicht erreichen, da das Wasser vorher wieder verdampft wurde. Allmählich senkte sich jedoch der Verdampfungshorizont immer tiefer und erreichte schließlich die Erdoberfläche. Bald war diese so weit abgekühlt, daß sich das Wasser auf ihr halten und seine zersetzende und erosive Tätigkeit beginnen konnte. Besonders zu Anfang mußte die chemische und mechanische Wirkung des Wassers außerordentlich groß gewesen sein, da unter den herrschenden Bedingungen der Kreislauf des weit über 100° C heißen Wassers sehr rasch erfolgte. Die Silikate der Kruste wurden daher fast ausnahmslos zersetzt und ausgelaugt. Die unlöslichen Zersetzungsrückstände, vor allem Quarz und tonige Substanzen, wurden von den stark mineralisierten Thermalwässern in die Senken der Erdkruste verfrachtet und dort sedimentiert. Daß solche ozean-großen Senken bestanden, kann nicht bezweifelt werden, nachdem VENING-MEINESZ gezeigt hat, daß in einem rotierenden Planeten ein oktantenweise verteiltes System von subkrustalen Strömungen entstehen muß, das eine Verbeulung der Kruste zur Folge hat¹.

Das theoretische Studium dieser Sedimentationsvorgänge führt für die Zeit, als die Oberflächentemperatur wesentlich unter 100° C gesunken war, zu folgendem Bild der Erde: Die pegmatitische Oberkruste und die obersten Teile der simatischen Kruste waren in den hochgelegenen Teilen (Urkontinente) abgetragen und in die Senken (Urozeane) verfrachtet worden. Die Sedimente, die wir in ihrer Gesamtheit als *Protosial* bezeichnen, bestanden aus Quarzsand, tonigen, serizitischen und chloritischen Substanzen sowie aus hydrothermalen chemischen Absätzen (Karbonate von Ca, Mg, Fe usw.). Ein Teil des Natriums und geringe Mengen von Magnesium, Kalzium und Kalium blieben gelöst im Urozean. Die pauschale chemische Zusammensetzung des Protosials mußte einer vor allem an Natrium verarmten Mischung von pegmatitischem und simatischem Material entsprechen. Die unter verschiedenen Voraussetzungen durchgeföhrten Berechnungen führen zu etwa gabrodioritischen Chemismen,

die den intermediären Magmatypen der Kalkalkalireihe sehr nahe stehen. Die tief erodierten Urkontinente bestanden dagegen aus reinem simatischem Material von olivinbasaltischer Zusammensetzung (hornblende-peridotitischer Magmatyp NIGGLIS), das höchstens lokal von Rückstandssedimenten bedeckt war.

Um das Bild zu vervollständigen, muß noch erwähnt werden, daß sich im Protosial die Hauptmenge der pneumatophilen Elemente¹ wieder vereinigt fand, und zwar je nach deren vorhergegangenen geochemischen Wanderungen in verschiedener Verteilung. Während die Substanzen der hydrothermalen Absätze und diejenigen der zersetzen und gelösten Mineralien der pegmatitisch-pneumatolytischen Kruste ziemlich gleichmäßig verteilt im Protosial auftraten, mußten sich die schweren und schwer zersetzbaren Mineralien der Oberkruste mehr lokal in seifenartigen Ablagerungen angereichert haben. Danach ist beispielsweise für Blei, Zink, Silber, Kupfer und für die meisten radioaktiven Elemente eine diffuse Verteilung für Zinn, Wolfram, Bor (Turmalin) usw., eine sporadische Verteilung im Protosial anzunehmen.

Die entscheidende Bedeutung der Pneumatosphäre für die Bildung der Erdkruste, und insbesondere für die geochemische Verteilung der Elemente in dieser, dürfte aus dem Gesagten klar hervorgehen. Mit der Kondensation des Wassers und dem Niederschlag der pneumatolytischen Mineralien ging fast die ganze Pneumatosphäre in den flüssigen und festen Aggregatzustand über und wurde zur Hydrosphäre und zum geringeren Teil zur Lithosphäre. Der minimale, in gasförmigem Zustand verbleibende Rest bildete die Atmosphäre, die sich allmählich durch passive Anreicherung des Sauerstoffs infolge Verlustes von Wasserstoff an den Weltraum zur heutigen «atembaren» Atmosphäre entwickelte².

Die weitere prägeologische Entwicklung der Erdkruste kann hier nur kurz angedeutet werden, da eine Darstellung der geophysikalischen und geochemischen Vorgänge mit ihren mannigfachen Wechselwirkungen viel zu weit führen würde. Die Wärmeerzeugung durch die im Protosial verteilten radioaktiven Elemente verursachte eine rasche Zunahme der Temperatur mit der Tiefe. Die unter der Belastung absinkende Kruste wurde daher an ihrer Basis eingeschmolzen. Die bestehenden subkrustalen Strömungen blieben vorerst unverändert und hielten das Protosial in seiner anistatischen Tieflage zurück. Die Einschmelzung der Unterkruste und die dehnende Wirkung der Strömungen erleichterte die Durchgasung, wodurch die Metamorphose der unteren Teile des Protosials bis zur selektiven Anatexis gesteigert wurde. So entstand das erste granitische Magma, das sich sammelte und in die oberen Teile des Protosials diapirisch eindrang, wo es

¹ Siehe Fußnote 1, S. 312.

² Siehe W. KUHN, I. c., 1941 und 1942.

zu granitischen Plutonen erstarrte. Durch diesen Vorgang wurden die leicht schmelzenden eutektischen Mischungen und der größte Teil der pneumatophilen Elemente nach oben verfrachtet, wo sie, zusammen mit den metamorphosierten Sedimenten, das erste eigentliche Sial bildeten. Allmählich schied sich so das Protosial in ein oberes vorwiegend granitisches Sial A und ein unteres Sial B, das eine noritartige Zusammensetzung besitzt.

Im Verlauf dieses metamorphen Differentiationsprozesses reicherten sich die radioaktiven Substanzen immer mehr im Sial A an, was zur Folge hatte, daß die radioaktiv erzeugte Wärme nur noch wenig zur Temperaturerhöhung in der Kruste beitrug, die sich deshalb abkühlte und an der Basis durch auskristallisierendes Magma verdickte. Dadurch entstanden laterale Temperaturgradienten zwischen Urozeanen und Urkontinenten, die vorerst bremsend auf die vorhandenen subkrustalen Strömungen wirkten und sie schließlich durch ein entgegengesetzt gerichtetes Strömungssystem ersetzten. Die unmittelbare Folge dieses Vorgangs war der isostatische Aufstieg der Sialmassen und die Versenkung der Urkontinente, die von da an den Boden der heutigen Ozeane vom Typus des Pazifiks bilden. Mit dem Emportauchen der Keimschollen der sialischen Kontinente und der Bildung der Ozeane mit simatischer Unterlage war die prägeologische Entwicklung der Erde abgeschlossen. Von da an herrschten innerhalb enger Grenzen gleichbleibende Bedingungen, die das geologische Geschehen regeln, für das das LYELLSche Aktualitätsprinzip Gültigkeit hat.

Im wesentlichen ist die prägeologische Entwicklung der Erde ein Abkühlungs- und Entgasungsprozeß, in dessen Verlauf sich die ursprüngliche homogene Solar-materie immer stärker differenzierte. Zusammenfassend läßt sich dieser Vorgang in folgende sechs Epochen einteilen, deren jede durch das Vorherrschen eines besonderen Differentiationsprozesses gekennzeichnet ist:

1. *Epoche der gravitativen Gasdifferentiation*: Durch Verlust der leichten und leicht ionisierbaren Elemente an den Weltraum reichern sich die schwereren Elemente an. Konvektionsströme mit abnehmendem Tiefgang. Entstehung des Erdkerns.

2. *Epoche der Kondensation der schwerflüchtigen Stoffe*: Bildung der olivinbasaltischen Magmaschale und der Pneumatosphäre durch Kondensationsdifferentiation der äußeren, teilweise an leichten Elementen verarmten Solar-materie.

3. *Epoche der Bildung der simatischen Erstarrungskruste* durch Kristallisation der Magmaschale von oben her.

4. *Epoche der Bildung der pegmatitisch-pneumatolytischen Kruste* durch Sublimationsdifferentiation der Pneumatosphäre unter Beteiligung des simatischen Vulkanismus.

5. *Epoche der Kondensation des Wassers*: Bildung der thermalen Hydrosphäre und der Atmosphäre durch

Kondensationsdifferentiation der Pneumatosphäre. Erosion und Sedimentation. Herausbildung der simatischen Urkontinente und Entstehung des Protosials in den Urozeanen.

6. *Epoche der Bildung der Kontinente und Ozeane*: Entstehung von granitischem Sial A und noritischem Sial B durch metamorphe Differentiation des Protosials. Inversion der subkrustalen Strömungen. Isostatische Hebung der Sialschollen und Senkung der simatischen Urkontinente, die zu Ozeanböden werden.

Durch diese prägeologische Entwicklung sind Bedingungen geschaffen worden, die notwendigerweise zur Ausbildung von Geosynkinalen und Orogenesen führen mußten, in deren Verlauf es immer wieder zu Erosion, Sedimentation, Metamorphose, Migmatit- und Granitbildung kommt. Dabei spielt die immer noch andauernde Entgasung des Erdinnern eine entscheidende Rolle¹. Die durch die prägeologische Entwicklung geschaffene geochemische Verteilung der Elemente läßt uns verstehen, warum granitische Magmen nur im Bereich der Sialschollen auftreten, warum die Eruptivgesteine der Orogene der Kalkalkalireihe, diejenigen der Kratone häufig und die der Tiefkratone immer der Natronreihe angehören. Sie liefert uns auch den Schlüssel zum Verständnis der räumlichen Verteilung der Erzlagerstätten, ihres Gebundenseins an das Sial, der mehr diffusen Verteilung der Blei-, Zink- und Kupferlagerstätten, gegenüber dem sporadischen Auftreten der bereits prägeologisch lokal angereicherten Zinn- und Wolframerze².

Diese kurzen Hinweise mögen genügen, um zu zeigen, wie wichtig es ist, sich ein Bild von der prägeologischen Entwicklung der Erde zu machen, wenn man die geologischen Probleme der Gegenwart ihrer Lösung näherbringen will.

Summary

Geological events are evidently the logical consequences of the conditions established by the pregeological evolution of the earth. It is therefore of the greatest interest to study as far as possible, and especially by means of physico-chemical laws, the earliest history of the earth. In another paper the author will show, that, in order to explain satisfactorily the geochemical and astrochemical facts, one must start from the conception of a very hot gaseous body of solar composition, the hypotheses of meteorites or planetesimals being absolutely inadequate to this end. In earlier papers Prof. KUHN and the author attempted to analyze the evolution of the earth's interior and, after having shown the impossibility of the formation of an iron core, concluded that the core of the earth must consist of highly compressed gaseous solar material, which has lost only a part of its hydrogen content.

The present paper gives a short description of the surface history of the earth in pregeological time, as it

¹ A. RITTMANN, Geol. Rdsch. 33, 485 (1942); R. C. Accad. Sci. fis. mat., Napoli 13, p. 4 (1945).

² A. RITTMANN, F. IPPOLITO und L. VIGHI, Sulla genesi dei giacimenti minerari (lavoro in corso).

can be deduced by physico-chemical laws from the geochemical facts. Six periods can be distinguished and are characterized by the following chief events:

(1) Enormous loss in the cosmic space of light elements, and especially of those readily ionizable, and, in consequence, enrichment of the heavier ones in the outer parts of the gaseous sphere, thus causing, together with the cooling, strong convection.

(2) Condensation of the less volatile constituents and formation of the liquid (about olivinebasaltic) magma-shell and of the pneumatosphere, which had all the characteristics of a pneumatolith solution and contained the chief part of all pneumatophile elements. Degasification of the liquid shell and of the layers below it increased the bulk of the pneumatosphere, but the convection currents did not reach the core, which remains unaltered to this day.

(3) Formation of a solid simatic crust by crystallization of the outer parts of the magma-shell.

(4) Formation of a pegmatitic uppercrust by the deposit of pneumatolithic minerals and ores from the cooling pneumatosphere. This uppercrust was mingled with the olivinebasaltic materials of intensive volcanism.

(5) Condensation of the water in the pneumatosphere, which changed to an atmosphere with slowly increasing content of free oxygen, due to the disassociation of water and escape of hydrogen in the uppermost layers

of the early atmosphere. The highly active hydrothermal solutions eroded the uppercrust and even parts of the simatic crust in the higher regions and carried great quantities of sediments into the growing primary oceans, accumulating there the protosial rich in quartz. Thus were formed the primary simatic continents and the primary protosialic ocean floors.

(6) The protosial was metamorphosed by heat and the addition of gases from the underlying magma. Anatexis and diapirism took place and caused the first granitic sial under the primary oceans. Isostatic readjustment then caused the uplift of the sialic masses, which became the germs of the geological continents, while the immersion of the primary continents brought forth the geological oceans with simatic floors. This isostatic readjustment marks the beginning of geological time.

The pregeological history, as summarized above explains many geological facts as e.g. the regional distribution of the magma series, the connection of ore deposits with the alcalic series, the great diffusion of lead, zinc and copper ores, and the sporadicity of tin, tungsten and molybden. It shows also why granites are formed only in orogenic and continental areas and are lacking in the Pacific, and it reveals the origin and nature of the energy which causes volcanism, metamorphism and orogenesis. The earth's evolution is shown to be caused essentially by an asymptotic process of degasification which still continues.

DISPUTANDA

Über die Gestalt von Fadenmolekülen in Lösung

Von WERNER KUHN, Basel

Unter dem Titel «Die Drehbarkeit der C-C-Bindung und die Gestalt der Kettenmoleküle in Lösung» ist von G. BIER¹ in dieser Zeitschrift ein Aufsatz veröffentlicht worden, in welchem die von H. STAUDINGER herührende Ansicht vertreten wird, daß Fadenmoleküle in Lösung nicht die Gestalt statistischer Knäuel, sondern die gerader Stäbe besitzen sollen. Da ich vom Herausgeber um Stellungnahme ersucht werde, möchte ich im Nachfolgenden zu den einzelnen von BIER vorgebrachten Argumenten folgendes bemerken:

1. Das erste von BIER vorgebrachte Argument lautet: Lösungen von Kettenmolekülen mit sehr verschiedenem Aufbau befolgen das gleiche empirisch gefundene Viskositätsgesetz.

Gemeint ist die von STAUDINGER gefundene Gesetzmäßigkeit, wonach für verdünnte Lösungen der Glieder einer polymerhomologen Reihe

$$\frac{\eta_{sp}}{c} = K_m M \quad (1)$$

ist. Dabei bedeutet η_{sp} die spezifische Viskosität der Lösung, c die Konzentration in Grundmol pro Liter, K_m eine für die polymerhomologe Reihe charakteristische Konstante, M das Molekulargewicht der gelösten hochpolymeren Substanz.

Hierzu ist folgendes zu sagen: Die Viskosität einer Lösung hängt sicher in empfindlicher Weise von der genauen Gestalt und Größe der in Suspension befindlichen Makromoleküle ab. Zusammen mit der empirischen Beziehung (1) läßt sich aber daraus nur der Schluß ziehen, daß zwischen der mittleren Gestalt der Moleküle einerseits, dem Molekulargewicht andererseits irgendeine quantitative Beziehung besteht. Es ist aber nicht, wenigstens nicht ohne weiteres, der Schluß zulässig, daß die Moleküle gerade Fäden seien. Die Stabform ist zunächst eine hypothetische Möglichkeit. Die Frage, ob die Annahme der Stabform zur Beziehung (1) führt, ist ein *hydrodynamisches Problem*. Dasselbe ist zuerst von W. KUHN¹,

¹ G. BIER, Exper. 2, 82 (1946).

W. KUHN, Z. physikal. Chem. [A] 161, 1 (1932); Koll. Z. 62, 269 (1933). — W. KUHN und H. KUHN, Helv. chim. Acta 28, 97 (1945).