© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Mitteilung aus dem Institut für Mineralogie und Petrographie der Universität Leipzig. Neue Folge (s. 1909) Nr. 71.

Metamorphosen von Salzen und Silikatgesteinen.

Von **F. Rinne** in Leipzig.

Der Aufforderung des Vorstandes unseres Niedersächsischen geologischen Vereins, zur Festschrift für die Versammlung der Deutschen Geologischen Gesellschaft sowie für die Zusammenkunft der Deutschen Naturforscher und Ärzte in Hannover eine Studie über Kalisalze beizutragen, komme ich im folgenden in der Form nach, daß ich die großen Wandlungen dieser Ablagerungen im Rahmen eines Vergleichs mit den Silikatgesteinen erörtere. Da ein Teil des Leserkreises den Lehren der Petrographie ferner steht, so ist ein allgemein gehaltener Abschnitt den speziellen Darlegungen vorangeschickt.

I. Allgemeiner Teil.

Die Metamorphosen der Salze und Silikatgesteine haben gemeinsam, daß eine unmittelbare Anschauung dieser Vorgänge nicht geübt werden kann; sie vollziehen sich durch geologische Zeiten hindurch und in unzugängigen Erdtiefen. Die Art der dabei wirksamen petrographischen Umstände kann also nur am Produkt erschlossen werden, das durch geologische Akte an die Erdoberfläche bezw. in bergbaulich erreichbaren Abstand von ihr gekommen ist.

Es gilt, den Werdegang solcher verwandelten Gesteinskörper nach Möglichkeit experimentell zu verfolgen und weiterhin, die natürlichen und die Versuchstatsachen unter allgemeine Gesichtspunkte zu bringen.

Die experimentelle Einsicht ist bezüglich der Silikate noch im Stadium der ersten Wegbahnung, hinsichtlich der Salze indeß bereits erfreulich vorangeschritten, eigenartiger Weise auf Grund von Arbeiten, deren Ziel nicht die Erforschung von Metamorphosen

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

an diesen Gesteinskörpern war, die vielmehr ins Werk gesetzt wurden in der Meinung, daß Primärbildungen zu erklären seien.

Bei der Aufstellung allgemeiner Gesichtspunkte sind natürlich vorweg die großen Züge im Bau der Erde maßgebend: die geologische Anordnung der Stoffe in der äußeren Erdzone mit ihrer gasigen und wässrigen Hülle über dem steinernen Untergrunde und seiner Durchmischung mit Sickerwasser in den obersten Horizonten; die Entbindung juveniler Agentien an den Stellen, wo Eruptive in höhere Horizonte der Erdkruste aufsteigen und beim Erstarren ihre steinerne Umgebung mittels solcher Emanationen durchtränken und erwärmen; die Zunahme der Temperatur mit dem Abstande von der festen Erdoberfläche und das Wachsen des Druckes mit der Tiefe in dem Maße, daß (abgesehen von mancherlei Komplikationen) bereits in den, erddimensional gedacht, sehr geringen Teufen von 3, 10 oder 20 km Temperaturen von rund 100°, 300° oder 600° und Belastungen von etwa 800, 2500 bezw. 5000 kg/qcm herrschen.

Von vorn herein lassen sich hiernach, wie bekannt, für die Metamorphose der Gesteine drei allgemeine Motive aufstellen: die gegenüber den Bedingungen bei der Entstehung der Gesteinsmassen vollzogene Veränderung der chemischen Umgebung, der Temperatur oder des Druckes bezw. mehrerer dieser Umstände zugleich.

Die allgemeine Beschreibung der Wirkung dieser Faktoren liegt als physikalisch-chemisches Gesetz vor: Ein Wechsel äußerer Umstände veranlaßt Vorgänge mit der Tendenz des Ausgleichs. Das gilt sowohl hinsichtlich der chemischen Umstände als auch bezüglich der Wirkung einer Druck- oder Temperaturveränderung. So wendet man auf petrographische Vorgänge wie bekannt, außer den Gesetzen der rein stofflichen Reaktion vielfach die Folgerung an, daß bei hohen Wärmegraden Prozesse begünstigt werden, die Wärme binden, bei niederen Temperaturen solche, die mit Wärmeentwickelung verknüpft sind. Man wird z. B. bei den Salzmineralen Gips und Anhydrit, die sich bis auf den Wassergehalt entsprechen, ceteris paribus, den wasserfreien Stoff als bei höherer, den hydratischen als bei niederer Temperatur gebildet betrachten, da die Wässerung des Kalziumsulfats ein wärmegebender Vorgang ist. Andererseits fußt man auf dem Volumgesetz, demzufolge bei Erhöhung des Druckes Prozesse ins Werk gesetzt werden, die mit Volumverkleinerung des

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Materials verknüpft sind; es wird also bei einer durch starken Druck gekennzeichneten Metamorphose die Bildung von Mineralen begünstigt die spezifisch besonders schwer sind. Entsprechend werden bei hohem Druck die chemischen Umsetzungen zu Produkten mit Minimalvolumen gelenkt. Die betreffenden Minerale bez. Mineralkombinationen sind geologische Piëzometer.

Es kann allerdings nicht verkannt werden, daß überall wo eine Kombination von Temperatur und Druck bei der zu studierenden Wandlung vorliegt, das Zusammenwirken dieser Faktoren den Verlauf der Wandlung komplizieren kann. Begünstigt z. B. beim Kalziumkarbonat der volumverkleinernde Druck die Bildung des spezifisch schweren Aragonits, so ist die Temperaturerhöhung der Entstehung von Kalkspat günstig. Bei der Metamorphose im Gebiete der kristallinen Schiefer hat überwiegender Wärmeeinfluß den Marmorlagern die Natur des Kalkspates gegeben.

Ganz entsprechendes gilt bezüglich der Entstehung der wasserreichen und wasserarmen Minerale. Läßt sich doch nicht verkennen, daß die Führung von chemisch gebundenem Wasser die Entstehung eines Minerals bei hohen Temperaturen nicht ausschließt. Gerade so gut wie man beim nötigen Kohlensäuredruck Kalziumkarbonat unzersetzt verflüssigen und aus seiner hochtemperierten Schmelze kristallisieren lassen kann, während es an der Luft erhitzt, seine Kohlensäure verliert, können wasserhaltige Mineralien auch bei hohen Temperaturen entstehen, wie die Biotite, Muscovite und Hornblenden der Plutonite erweisen. Es kommt für die Möglichkeit der Bildung hydratischer Stoffe darauf an, daß die Tension ihres Wassers durch äußere Umstände in Schach gehalten wird. Tiefere feuchte Zonen der Erdkruste sind durch ihre Nachbargesteine wie in einer gewaltigen Bombe eingekapselt; unter solchen Umständen wäre die Bildung OH-haltiger Minerale, etwa von Chlorit, auch bei hohen Hitzegraden möglich. Daß sie trotzdem wesentlich Indikatoren der Metamorphose in höheren Horizonten der Erdkruste sind, liegt wohl daran, daß feuchte Zonen mehr in den oberen als in den unteren Teilen der Lithosphäre vorkommen. Zur Sicherstellung von Tiefenstufen der Mineralbildung bei kristallinen Schiefern ist also erwünscht, daß die Erwägungen durch geologische Beobachtung gestützt werden.

Mannigfaltig sind bekanntermaßen die Kriterien für die Wirksamkeit einseitigen Druckes, der Pressung; sie entfaltet sich wenn dem Material Gelegenheit zum Ausweichen gegeben ist. In

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

der Hinsicht erscheint es nicht unwichtig, daß sich dies auch bei vertikal nach unten gerichtetem Streß infolge einer nach dem Volumgesetz einsetzenden stofflichen Wandlung mit Volumverkleinerung vollziehen kann; die Bewegungsmöglichkeit würde hierbei durch eine Art chemischen Schrumpfens gewährleistet. Weiterhin kann es unter dem Einfluß des Hangenddruckes ebenfalls zu seitlichen Verschüben kommen, wenn plastischem Material, etwa Salzen, die Gelegenheit zum abfließen in Zonen geringeren Widerstandes der Gesteinsschale sich darbietet, in die sie dann gangförmig injiziert werden.

Die Wirkung der Pressung drückt sich wie bekannt in mannigfacher Weise aus. Im geologischen Maße macht sie sich durch die Dislokationen der Gesteinskörper kenntlich; beim Anblick aufgerichteter, gefalteter, abgeschnürter, gestauchter, gestreckter, verworfener oder in sich zerstückelter Gesteinsmassen ist kein Zweifel, daß gerichteter Druck diesen Ausweichungszustand der Dinge herbeigeführt hat. Dabei ist noch ein Moment bei Salzgesteinen, die aus plastischen und aus spröderen Bestandteilen aufgebaut sind, von Bedeutung; wie E. Seidl betonte, kann sich bei den bekannten Verschüben der Massen innerhalb der Schichten nach den Stellen der Faltenumbiegung eine Differenzialbewegung der Gesteinskomponenten und damit eine mehr oder minder weitgehende stoffliche Entmischung vollziehen, insofern die leicht verschiebbaren Bestandtteile sich an den angestauten Stellen anreichern, die andern zum großen Teil auf den gezerrten Sattelflanken verbleiben. Bei Silikatgesteinen macht sich ein anderer sinnfällig auf Pressung weisender Umstand geltend, die mechanische Zwangsorientierung von Gesteinskomponenten, das ist die Anpassung blättchenförmiger und stengeliger Minerale an die Richtung des Streß. Sei es gleich bei ihrem Entstehen, sei es nachträglich, haben sich solche Gesteinskomponenten der mechanischen Kraftäußerung durch Legen ihrer Längsrichtungen in die Ausweichungsebene anbequemt, besonders wohl dann, wenn ein pulsierender, wenn auch geringer Wechsel der Druckrichtung das Hineinrücken der Blättchen und Stengel in die herrschende Texturebene beförderte. Da aber auch von Natur aus nicht blättchenförmige Bestandteile silikatischer Gesteine, wie z. B. oft der Quarz von Granuliten, eine ausgesprochene Lamellenform angenommen haben, so hat hierin die Idee der Kristallisationsschieferung eine starke Stütze. Diesem Grundsatz zufolge sind

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/;www.zobodat.at

Stoffe an mechanisch beanspruchten Stellen löslicher als sonst. Mithin werden Teilchen, die von einseitigem Druck betroffen werden, sich besonders in der vom Streß bedingten Ausweichungsebene entwickeln.

Im übrigen wird in die Herausbildung der kristallinen Schiefer, ein auch sonst in der Gesteinswelt sich oft bekundender Umstand, die Sammelkristallisation, hineinspielen, das bekannte Bestreben der Individuen kristallinen Materials nämlich, sich zu größeren Einheiten zu gesellen. Vielfach wird dieser Umbau durch wässrige Rekristallisation vermittelt sein. Indessen zeigen Experimente, daß sich solche Umstellungen gelegentlich auch ohne Mitwirkung einer Lösung vollziehen. In der Hinsicht ist der Kalkspat ein lehrhaftes Beispiel. Das außerordentlich feine Gefüge z. B. von Solenhofener Kalkstein vergröbert sich in der kurzen Zeit von ein paar Minuten beim Erhitzen auf etwa 1100 Grad. Das Material wird im mikroskopischen Sinne marmorisiert. Es gibt das einen erwünschten Anhalt für die natürliche Bildung von Marmor, sei es im Kontakthof, der durch die Emanationen von Eruptivmassen geheizt ist oder bei der etwaigen geosynklinalen Versenkung von Kalkstein in das erwähnte Tiefenlaboratorium der Erdkruste.

Alles in allem gedacht erweist sich die bunte Mannigfaltigkeit der Gesteinsmetamorphosen, wie oft herausgehoben ist, als eine Anpassung des Materials an veränderte Umstände. Neue Gleichgewichte werden von ihm angestrebt. Mit dem Erreichen der Harmonie steht die Metamorphose still, um aufs neue sich ins Werk zu setzen, falls die chemischen oder physikalischen Bedingungen wiederum wechseln. Gelegentlich geschieht das in dem Sinne, daß die bei der ursprünglichen Bildung herrschenden Umstände ganz oder fast wieder erreicht werden. Dann führt die Metamorphose zu Materialien, die den Ausgangsstoffen gleichen oder nahe stehen.

Bei diesen Änderungen der Gesteinskörper in einem oder anderen Sinne der Metamorphose verschwindet er als solcher nicht; auch die mit Lösung verbundenen Wandlungen spielen sich nicht in allen Teilen in gleichmäßigem Fortschritt ab, ergreifen vielmehr die Komponenten bald hier bald dort. Lösung und Absatz spielen durcheinander, ein Vorgang der ein lehrhaftes Analogon in abbindenden, gebrannten Gipsmassen hat, die im Verlauf dieser Umänderung als Gesamtkörper nicht gleichzeitig in Lösung gehen,

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

bei denen vielmehr jedes kleine Körnchen, wie es sich unter dem Mikroskop sehr hübsch zeigt, vom Wasser aufgenommen wird, um zur Bildung des bihydratischen Materials zu dienen. Als Ganzes qetrachtet bleibt die Gipsmasse als stets fest erscheinender Körper bestehen, weil Umänderung und Ausscheidung in einander greifen.

II. Spezieller Teil.

1. Hydrometamorphose.

Es läßt sich nicht verkennen, daß eine Verwandtschaft besteht zwischen den petrographischen Vorgängen der Verwitterung und denen, die als Metamorphosen bezeichnet werden, insofern sich die erstgenannten Erscheinungen als Anfangsglieder in die fortlaufende Reihe der Metamorphosen stellen lassen. Bei der Verwitterung handelt es sich um Wandlungen, die wesentlich nur unter dem Zeichen des Wechsels der chemischen Umgebung des Gesteinsmaterials sich vollziehen, also ohne daß hohe Temperatur oder starker Druck mitspielen. Der Schauplatz dieser Veränderungen ist die Zone, in der die chemisch gegensätzlichen Stoffe der Atmosphäre, Hydrosphäre und Lithosphäre zusammenstoßen, und das Hauptagens ist unverkennbar das Wasser in chemischer Wirksamkeit, wenn es auch durch viele andere bekannte Umstände unterstützt wird. Entsprechend diesem Hauptreagens spielt in der Sphäre der Verwitterung die Hydrolyse eine große Rolle; die Wirkung der Kohlensäure und des Sauerstoffes setzt im Gefolge oft kräftig ein. Kennzeichnend ist, daß bei der niederen Temperatur und dem geringen Drucke, die auf dem erdoberflächlichen Schauplatz dieses Hydrometamorphismus herrschen, das Ergebnis der Reaktionen, wie bekannt, in außerordentlich zahlreichen Fällen in der Bildung kolloidaler Substanzen besteht. Eine lückige Decke von Gelen, aus der Wandlung der erdoberflächlichen Zone der Lithosphäre als Restbildung entstehend, sich mehr und mehr in sie einfressend, aber zufolge ihrer lockeren Art durch Erosion oft in großen Massen wieder entfernt, hat sich auf dem Festen ausgebreitet; und vielfach sind es auch kolloidale Substanzen, die sich im Wasser der Seen und Meere, denen die löslichen Erzeugnisse der Verwitterung zugeführt werden, sedimentieren. Der Tonhut, der in so kennzeichnender Weise auf Orthoklasgesteinen lagert, die Laterite der Tropen, die Absätze von wässerigem Eisenoxyd, sowie von Kieselsäure, auch das abgesunkene Kieselerde-Plankton der Tiefseeschlammmassen

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

sind bekannte Hauptbeweise dieser Wandlungen. Natürlich hat man im allgemeinen auf der in unserem Klima von Wasser durchtränkten und vom Regen abgewaschenen Erdoberfläche nur Gelegenheit, im Wasser schwer lösliche Produkte der Verwitterung zu beobachten. Gerade sie sind es, welche in Gelform erscheinen. Anders ist es schon beim Kalziumsulfat, das sich in den deutschen Salzlagerstätten des Zechsteins in größter Verbreitung fein verteilt und in mächtigen Bänken als Anhydrit vorfindet. Wo diese Lagen an die Erdoberfläche stoßen, haben sie sich in kristallinen Gips verwandelt. Erforscht man die Ergebnisse der Hydrometamorphose, die in etwas größerer Tiefe, mehr geborgen vor der lösenden Tätigkeit überschüssigen Wassers liegen, so findet man vielfach leichter lösliche Salze in stets kristalliner Form, so in den Salzhut genannten Teilen der Lager wiederum Gips, ferner Steinsalz, Kainit, Carnallit usw., bei den Erzhüten etwa kristallinen Malachit, noch vielfach gemengt mit kolloidalem eisenoxydischen und sonstigem Material.

2. Hydrothermale Metamorphosen.

Die eigenartigen Bildungen der Salzhüte, bei deren Entstehung die Temperatur, der Tiefenlage der Vorkommnisse entsprechend, schon ein wenig höher war als bei den erdoberflächlichen Verwitterungserscheinungen, stellen ersichtlich die Übergänge vor zu Metamorphosen, die sich im Bereich erheblich höherer Wärme vollziehen und mit Fug und Recht als hydrothermale Wandlungen bezeichnet werden können. In der Hinsicht bieten sich Metamorphosen an Kalisalzlagern als ganz ausgezeichnete Fälle dar; sie sind es, die den Bestand der riesigen deutschen Salzschatzkammern weitgehend veredelt haben.

Die physikalisch-chemischen Umänderungen unserer Salzlagerstätten sind einmal das Ergebnis intensiver und weitverbreiteter Sammelkristallisation, die insbesondere vielerorts das Hauptmaterial der Salzlager, das Steinsalz, ergriffen hat. Es ist ja höchst unwahrscheinlich, daß dies Mineral sich ursprünglich in Form der schönen klaren, oft mehr als zollgroßen Kristalle abgesetzt hat, die in ihrer groben Spätigkeit mit starken Reflexen im Schein der Grubenlampe strahlen. Vielmehr liegen sehr häufig in ihnen, wie auch bei anderen Salzgesteinskomponenten, Ergebnisse weitgehender Umkristallisation zu groben Aggregaten vor. Natürlich sind hierbei die früheren Texturen des Steinsalzes verschwunden,

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

während die der nicht umkristallisierten Komponenten, z. B. des Anhydrits erhalten blieben. Eine etwaige Deformation der Steinsalzkristalle z. B. geht in diesem Vorgange der Sammelkristallisation ebenso unter wie das porphyrische Gefüge von Kalkspatpulver, welches der künstlichen Marmorisierung unterworfen wird. Die Schichtenbiegungen bewahren ihren Ausdruck in den nicht verwandelten Schnüren.

Weiter aber hat der Einfluß einer wässrigen Durchtränkung der Salzmassen und zugleich einer erhöhten Temperatur zur Entstehung neuer, bei niederen Wärmegraden nicht bildbarer Minerale und Mineralkombinationen, als Ergebnissen einer hydrothermalen Metamorphose geführt. Wie ich schon 1901 in meiner Gesteinskunde gelegentlich andeutete, haben sich in den gegen Temperaturerhöhung empfindlichen Mineralien der Kalisalzlager sekundäre Umänderungen zur Zeit vollzogen, als eine mächtige Überlagerung durch andere Gesteine die Temperatur im Salze steigerte. S. Arrhenius nahm unabhängig davon denselben Standpunkt ein, zur Zeit als die ältere Annahme der Salzmetamorphose unter dem Einflusse der Arbeiten Everdings wieder (auch vom Verfasser) verlassen war. R. Lachmann schloß sich den Erwägungen von Arrhenius an. Den wichtigen Umstand, daß bei diesen Wandlungen der Salzlagerstätten die Kombination einer durch Überlagerung sekundär erhöhten Temperatur mit einer Infiltration vadosen Wassers, insbesondere bei der Bildung der Hartsalze von großer Bedeutung gewesen sein muß, hat M. Naumann wirksam betont. Beiläufig mag auch das aus dem wasserreichen Carnallit zu Folge starker Temperaturerhöhung ausgetriebene Kristallwasser mitgewirkt haben.

Damit scheint eine wichtige Frage der Kalisalzlagerstättenchemie ihre glückliche Erledigung gefunden zu haben, die den Altmeister der physikalischen Chemie van't Hoff lange beschäftigt hat. Als er mit seinen Schülern ein Diagramm der Entstehung ozeanischer Salzablagerungen ausgearbeitet hatte und nun das Ergebnis der Laboratoriumsversuche mit den Dokumenten für die chemische Arbeit der Natur verglichen wurde, zeigte sich alsbald eine starke Divergenz. Die Kristallisationsbahn des Diagrammes, das van't Hoff als Leitfaden für die Entstehung der Salze hinstellte, erwies sich als vielfach sehr abweichend von dem Ausscheidungsgange, wie ihn die Übereinanderlagerung der Salzschichten erkennen läßt.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Nach VAN'T HOFF sollte man ein Salzprofil mit übereinandergeschichteten Regionen erwarten, die neben reichlicher Steinsalzführung sich wesentlich durch Anhydrit, dann Polyhalit, sowie fortschreitend Reichardtit und Kainit; Magnesiumhexahydrat-Kainit, Kieserit-Kainit; Kieserit-Carnallit auszeichnen sollten. In der Natur aber fehlen im Normalprofil sowohl Reichardtit und Hexahydrat als auch Kainit. Nun ließ sich zwar durch Annahme einer etwas höheren Bildungstemperatur der Salzablagerungen eine bessere Anpassung der Theorie an die Praxis der Natur ermöglichen: bei 35° fallen Reichardtit und das Hexahydrat fort; der Bildungsbereich des Kainits verschiebt sich, brauchte also von der Kristallisationsbahn nicht mehr getroffen zu werden. Indes blieben doch noch andere Berge von Schwierigkeiten bei der Erklärung über. Es fanden sich in beträchtlicher Verbreitung ein Langbeinit genanntes anhydrisches Kaliummagnesiumsulfat, das eine noch etwas höhere Bildungstemperatur (37°) beansprucht und ein Natriummagnesiumsulfat, der Vanthoffit, für den eine Entstehung bei Wärmegraden über 46° vorausgesetzt werden muß. Insbesondere aber war die Kombination von Steinsalz, Sylvin und Kieserit zu dem Hartsalz genannten Gestein zu erklären, das nach dem Kristallisationsdiagramm VAN'T HOFFS für niedere Temperaturen ganz unmöglich ist, aber sich in sehr reicher Fülle in den Salzlagern zeigte. Es erwies sich, daß die Bildung eines solchen kieseritischen Sylvinhalits (des erwähnten Hartsalzes) sich erst bei Wärmegraden über 72° vollzieht. So setzte denn VAN'T HOFF für dieses Gestein eine Seewassertemperatur von der genannten Höhe voraus.

Unter dem Zwange der physikalisch-chemischen Schlußfolgerung sind ihm viele in dieser Meinung gefolgt, so eigenartig auch die Idee eines auf weite Bezirke der Art hoch erhitzten Salzsumpfes war. Jetzt aber kann man im Sinne der oben erörterten hydrothermalen Metamorphose die Theorie der heißen Salzsee unbeschadet der Richtigkeit der VAN'T HOFF'schen Diagramme fallen lassen. Nicht bei der Entstehung zur Zechsteinzeit herrschten in dem deutschen Salzsumpf die ungemein hohen Wärmegrade von über 72°, sondern sie stellten sich ein, als die Überlagerung der überschütteten Salzschichten in der Geosynklinale so stark geworden war, daß die geothermale Fläche von über 72° bis zu dem Zechsteinhorizont hinauf reichte. Das war bei einer Mächtigkeit der Überlagerung von 2000 m erreicht, hat man doch im 2240 m tiefen Bohrloch von Czuchow in Oberschlesien bei 2221 m eine

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Temperatur von 83,4 ° gemessen. Die Entwässerung von Carnallit stellte vielleicht einen Teil des wirksamen Lösungsmittels zur Verfügung, das im übrigen im Laufe des Vorganges der geosynklinalen Absenkung und besonders zur Zeit orogenetischer Ereignisse als vadoses Wasser Zugang zu den bedeckten Salzmassen fand. Galt bei der Bildung der Kalisalzlager ein Diagramm von ungefähr 35 °, so regierten nach der geosynklinalen Versenkung und Überlagerung der Salzgesteine etwa die Gesetze, die VAN'T HOFF in seinem Schema für 83 ° verkörpert hat. Aus dem Gemenge von Steinsalz, Carnallit und Kieserit [1]) entstand überall dort, wo genügende Wasserzufuhr sich vollzog, kieseritischer Sylvinhalit, ein Aggregat von wesentlich Steinsalz mit Sylvin und Kieserit. Daß in der Tat die jetzigen Hartsalzmassen die Produkte der Metamorphose von Carnallitgesteinen sind, wird durch die insbesondere von SCHÜNEMANN erkannte und auch von LÜCK und ROZSA betonte Identität der Steinsalzbänke im nicht verwandelten Carnallitgestein und im Hartsalz vollends erwiesen. Wo das überschüssige Chlormagnesium seinen geologischen Platz gefunden hat, bedarf noch der Überlegung. Nur zum Teil wohl findet man es gelegentlich als Durchtränkung der Salz-, Ton- und Anhydritmassen, oder in Schlotten dieser Gesteine, sowie als Gangbildung die Restsalze durchsetzend.

Als die Erdwärme nach langen Zeiten durch Abtragung der Überlagerung wieder sank oder als Teile der Salzmassen durch tektonische Ursachen in hohe Regionen der Erdkruste hinaufgelangten, herrschten die Bedingungen eines Kristallisationsdiagramms für niedere Temperaturen, etwa des VAN'T HOFFS für 25 °. Gips und Kainit der Salzhüte sind die Zeugen dafür. Die wässrige Metamorphose nahm also rückwärtigen Verlauf, entsprechend den diaphthoritischen Wandlungen bei Silikatgesteinen.

Diese Vorgänge der hydrothermalen Metamorphose an unseren Salzen sind im Sinne obiger Auffassung, mutatis mutandis, vergleichbar mit den Erscheinungen der Kontaktmetamorphose, insofern Erhöhung des Wärmegrades und eine Durchtränkung mit Lösungen hier wie dort die herrschenden Faktoren darstellen. Von besonderem Interesse ist es dabei, daß die Ergebnisse der Kontakt-

[1]) Der LACHMANN-ARRHENIUS'schen Annahme, daß zufolge niederer Entstehungstemperatur das Magnesiumsulfat ursprünglich stark gewässert und auch das Kalziumsulfat als Gips vorlag, also Kieserit und Anhydrit bereits sekundär seien, vermag ich, im Hinblick auf die Verhältnisse im Dünnschliff, die keine solche Vorgänge anzeigen, nicht beizupflichten.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/;www.zobodat.at

metamorphose, gleich wie die der hydrothermalen Wandlung der Kalisalze, einem Gleichgewicht entsprechen; Untersuchungen Goldschmidts an skandinavischen Kontakthöfen haben die Gültigkeit der Phasenregel deutlich ergeben, und daß die Metamorphosen der Kalisalze dem Diagramm van't Hoffs für höhere Temperaturen gehorchen ist bereits oben betont worden. Es ist für die Einstellung dieser Gleichgewichte gewiß der Umstand wesentlich gewesen, daß eine geologisch lange Zeit für die Metamorphose zur Verfügung stand, bei den dyadischen Salzen wohl eine nach Hunderttausenden von Jahren zählende Periode; beim Erkalten gewaltiger unter Bedeckung erstarrender Eruptivmassen wird die Emanation von Lösungen ins Nebengestein auch sehr lange währen. Machen sich doch z. B. noch jetzt die Nachklänge tertiärer Eruptionstätigkeit durch heiße Quellen und Gasaushauchungen geltend.

Im übrigen sei darauf hingewiesen, daß in die Bildungsgeschichte der Hartsalze, als des Hauptbeispiels der hydrothermalen Metamorphose unter den Salzen, noch ein anderer Faktor mehr oder minder stark hineinspielt: gleichwie sich im Sinne Weinschenks eine Piëzokontaktmetamorphose herausheben läßt, so hat eine Pressung auch bei der hydrothermalen Wandlung der Salze oft kräftig mitgespielt. Davon wird weiter unten die Rede sein, gleichwie von einer Theorie der Hartsalzbildung, die E. Seidl aufgestellt hat.

3. Pressungsmetamorphose.

Die anfänglichen allgemeinen Überlegungen führen dazu, nunmehr das zweite große Motiv der Gesteinswandlungen in den Vordergrund der Betrachtungen zu stellen; die Erhöhung des Druckes auf die Materialien der äußeren Erdkruste. Der Gegensatz von stark gefestigter (etwa durch große plutonische Massen versteifter) und schwächer gebauter Teile der Lithosphäre führte unter der Gewalt der erdtangential wirkenden Pressung zu dem, was Stille die Undation der Erdkruste in Hochgebiete und Geosynklinalen genannt hat. In den großen, immer mehr und mehr sich absenkenden, vom Meere eingenommenen Wannen, häufte sich das durch Erosion abgetragene Material zu mächtigen Sedimentfolgen an, bis dann, wie der genannte Forscher es darlegt, eine Undulation von Teilen der Geosynklinale diesen großen epirogenetischen Vorgang episodisch unterbrach. Die gewaltigen Kräfte, die solcher Weise die Gesteine innerhalb des Rahmens der sie

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

umgebenden starren Massen aufrichteten, in Falten schlagen ließen und in Schollen zerbrachen, beeinflußten auch deren inneres Gefüge je nach der physikalischen Natur der steinernen Materialien mehr oder minder. Es kam zu Verschüben und mineralischen Differenzierungen innerhalb der Gesteinslagen, zu Stauchungen und anderweit zu Streckungen, bei spröden Massen zu Zerstückelungen und Zerdrückungen, ja zum Zergrusen und zu staubfeinem Zermahlen.

Aus der Mannigfaltigkeit solcher Umstände sei zum Vergleich mit den bekannten Erscheinungen anderer Gesteine die Piëzometamorphose der Salzgesteine des deutschen Zechsteins gewürdigt.

Diese Ablagerungen der deutschen geosynklinalen Wanne der Dyasperiode verdanken ihre große Mächtigkeit dem Absinken des Untergrundes, auf dem sie sich ablagerten und dessen sich vertiefende Undation es ermöglichte, daß immer neue Salzlager sich auf die alten packen konnten, bis zu einer Mächtigkeit von Hunderten von Metern. Auch nach dem Abschluß der Salzbildung ging das Vertiefen der Erdmulde und die Überlagerung weiter.

Es ist wahrscheinlich, daß schon gleich nach dem Absatz der Salze auf dem sich mehr und mehr verschrägenden Boden eine Bewegung der Schichten, hier mehr und dort weniger, sich einstellte, ähnlich wie man es an Schlammmassen unter Wasser beobachtet und in äußerst drastischer Art z. B. an den sandigen Mergellagen des Flysch Istriens erkennen kann, deren gekröseartige Rutschfaltungen ich letzthin unter Führung meines Kollegen Kossmat kennen lernte. Die Verschlingung mancher Salzlagen, insbesondere von Kieserit, auch die Überlappung von Anhydrit- und Polyhalitschnüren im Steinsalz in stets gleicher Richtung sowie die merkwürdige Erscheinung des sog. Schlangengipses könnten auf solchen Rutschungen beruhen.

Der große Vorgang der geosynklinalen Absenkung wurde zur Jurazeit, auch in der Kreide-, und Tertiärperiode durch bedeutendere Störungsbewegungen unterbrochen. Die Weichheit und unbestreitbare Plastizität des Hauptmaterials der in Rede stehenden Ablagerungen, des Steinsalzes, dessen innere Verschiebbarkeit sich mit Erhöhung der Temperatur nach Milch noch bedeutend erhöht, brachte es mit sich, daß, wie insbesondere auch v. Koenen, Stille und Seidl betonten, die Salzformation dabei vielfach ganz anders, nämlich weit empfindlicher reagierte als die Gesteine im Hangenden und Liegenden und auch als die, welche in den Steinsalzlagern

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/;www.zobodat.at

schichtig eingeschlossen sind. Es wurden die flach gelagerten Salze in z. T. ganz außerordentlich intensive Faltungen zusammengedrängt, gelegentlich mit weithin parallel gestellten Flügeln [1]), sie erfuhren hier Stauchungen und dort Streckungen, während die benachbarten starren Gesteine sehr viel weniger beeinflußt wurden. Durch solche Dislokationen ist es dahin gekommen, daß vielerorts kieseritische Sylvinhalite, also hydrothermal metamorphosierte Salze, in unmittelbaren mechanischen Kontakt mit noch in ursprünglicher stofflicher Art erhaltenem Carnallitgestein geraten sind, was z. B. im Berlepschbergwerk bei Staßfurt in prächtiger Weise zu studieren ist.

Der außerordentliche Gegensatz zwischen den liegenden starren Zechsteinschichten und den so ganz anders gearteten Salzmassen machte die Grenze zwischen beiden zu einer Hauptdifferenzfläche bezüglich des physikalischen Verhaltens gegen pressende Kräfte. Wie es in anderen Horizonten der Erdkruste geschehen ist, kam es hier dazu, daß die Salzmassen auf dem starren Untergrunde des mittleren Zechsteines, der plan liegen blieb, hingeschoben und weiterhin in Decken übereinander gepackt wurden [2]). Auch konnte es sich ereignen, daß die abgehobenen Salzlagen bei starker Pressung in Falten schlugen und als Kern eines Sattels der hangenden Schichten diesen in komplizierten Schlingen, gewissermaßen, wie Stille sich ausdrückt, voraneilten oder im Sinne Seidls das Hangende durchspießten. Das trifft in höchst bedeutsamer Art für das tiefere Steinsalzlager zu, welches gelegentlich seine spröde zerbrechende Decke von Salzton und Hauptanhydrit, wie Wasser einen zerreißenden Damm, in plastischen Schlingen durchflutet hat.

Ferner ist es wahrscheinlich, daß die leichten Salzmassen, die zudem gegenüber den begleitenden schweren Gesteinen wie Arrhenius betonte, einen beträchtlichen Auftrieb besitzen, der Pressung mächtiger hangender Gesteinslagen nachgaben und nach Stellen schwächsten Widerstandes seitlich wanderten um hier als Injektion (wie Harbort treffend hervorhob, gangförmig aufgepreßten Schmelzflüssen durchaus ähnelnd) zwischen dem Nebengestein hoch emporzusteigen. Nach Kirschmann läßt es sich an der Hand der Bohrergebnisse im Allertal erkennen, daß der Boden der Salzmassen,

[1]) Ein ganz besonders schönes Beispiel liegt nach C. Rühle im Bernburger Sattel des Salzvorkommens von Solvay vor.

[2]) Ausgezeichnete Beispiele solcher Abschubverwerfungen sind in den Salzlagern am Südharz zu beobachten.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

der starrere mittlere Zechstein, flach liegen blieb, wie man ihn ja auch in den hannoverschen Salzkörpern bei Bohrungen niemals als Aufwölbung angetroffen hat, während die Salzlagerstätte selber sich in der Art deformierte, daß sie, unter entsprechender starker Verdünnung an ihren Seiten, zu einer gewaltigen Injektionsmasse anschwoll, die in die Höhe strebte bis zu dem Niveau, wo ein Weglösen durch Sickerwasser ihrem Aufdringen die Wage hielt und noch hält, sodaß ein Salzspiegel im Sinne FULDAS (das OCHSENIUS'sche Salztischtuch) sich einstellte. Die auf ihn abgesunkenen überlagernden Schichten zeigen natürlich oft die verwickelte Lagerung eines geologischen Auslaugungsgrabens. Solche von LACHMANN Ekzeme genannte Salzrücken, oder förmliche Salzsäulen sind im norddeutschen Boden nicht selten, wie sie ja auch sonst z. B. in den Vorkommnissen der Alpenwelt gefunden werden, wo triadische Salzmassen bis hoch in die Schichten der Juraformation mechanisch injiziert sind. Das Maß des Aufsteigens der norddeutschen Aufpressungsklippen zwischen wenig gestörtem Nebengestein geht in die Tausende von Metern. Ausgezeichnete Beispiele in der Hinsicht sind durch Bohrungen bei Sperenberg nahe Berlin sowie bei Wietze unfern Celle gekennzeichnet, wo man nach etwa 90 Metern das Salz antraf, in welchem man dann bis 1271 bezw. sogar 1600 m Teufe verblieb, ohne das Liegende zu erreichen. In solchen Aufpressungshorsten ganz besonders, aber auch sonst in den Salzablagerungen sind die Erscheinungen der Pressungsmetamorphose in wahrhaft erstaunlicher Art zu beobachten. Insbesondere sind Beispiele von schlieriger Faltung und mannigfacher Abschnürung, von Stauungen zu spröden Salzmassen in den Umbiegungszonen und Zerrungen zu festen Salzgesteinen an den Sattelflanken (worauf E. SEIDL hinwies) sowie die Umstände mylonitischer Zerstückelung auf das Beste zu studieren. Es handelt sich bei diesen Trümmersalzen, deren Entstehung durch tektonische Kräfte M. NAUMANN betonte, um sehr verbreitete Carnallit-Halit-Gesteine, in welche zahllose Brocken von Steinsalz, sowie Stücke und Schollen von Hartsalz, auch Salzton eingebettet sind, derart, daß das Ganze oft den Eindruck eines verkitteten Schuttes macht. Daß es nicht etwa in Wasser abgesetzte, verschwemmte und durch Carnallit verbundene Konglomerate sind, beweist der Übergang von gutgeschichtetem Gestein zu den ärgst zerdrückten Massen. Sehr interessant sind dabei die Beobachtungen über das verschiedene Verhalten der Gesteinskomponenten. Am ehesten erkennt man die

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

piëzomorphe Bildung an den eigenartig gekrümmten, oft geringelten Kieseritschnüren. Dünne Steinsalzbänke verlieren vielfach den Zusammenhalt, die stärkeren halten noch Stand, bis dann auch sie in der Mühle der Dislokationskräfte abgeschnürt, zerbrochen und zertrümmert werden. Die in das Salz gebetteten Anhydritlagen erscheinen in großen und kleinen Bruchstücken, auch der Salzton wird in Fetzen zerrissen und oft in zerbröckelten Massen gefunden. In manchen Fällen sind die dislozierten, hier und da von einander abgehobenen, oder die zerbrochenen spröderen Gesteine, wie der Hauptanhydrit, durch Absätze aus zirkulierenden Lösungen wieder ausgeheilt; als solche sekundäre Bildungen erscheinen gern Sylvin, auch Steinsalz, Carnallit und Tachydrit, Verhältnisse, die an die mylonitischen Kalksteine und Serpentine erinnern, deren prächtige Druckbreccien durch Kalkspat verkittet sind.

Eine von E. Seidl am Anhydrithalit des Schoenebecker Lagers erkannte und oben bereits angedeutete Wechselbeziehung zwischen tektonischer Position und petrographischer Art der Salze ist von großem Interesse. Es erwies sich dort das Steinsalz an den Staustellen (den Sattelköpfen) arm an Anhydrit, reich daran an den Sattelflanken, wo sich starke Anhydritlagen als Rückstandsbildungen mechanischer Gesteinsdifferenzierung entwickelt haben. Der Ca SO_4-gehalt geht von $^1/_{30}$ im Stausalz bis $^1/_3$ im Zerrsalz. Die Wanderung des Salzgesteins nach den Sattelstellen der Falten hat sich also nicht gleichmäßig an den Gesteinskomponenten, Anhydrit und Steinsalz, vollzogen. Für das plastische Steinsalz war die Bewegungsmöglichkeit weit größer als für den Anhydrit. So kam es zu einer mechanischen Entmischung des Gesteins; ähnlich wie man Wasser aus einem Schwamme auspreßt, so floß das Steinsalz plastisch zu den Sammelräumen der Sattelköpfe, ein anhydritreiches Gestein an den Flanken der Falten zurücklassend.

Bezüglich der Metamorphose von Carnallitgestein zu Hartsalz entwickelte der genannte Forscher die Theorie, daß an den Sattelflanken und in breit angelegten Sattelköpfen der Druck sich in Zertrümmerung, Anhäufung und Zerrung der Lagerstätte gewissermaßen erschöpfte, während in ganz oder teilweise abgeschnürten Faltenpartien, wo die Schichten nicht die Möglichkeit hatten dem Druck auszuweichen, der Überdruck sich in Wärme umsetzte und zufolge dieser Umstände sich Hartsalz aus Carnallitgestein unter

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/;www.zobodat.at

Ausquetschung des Chlormagnesiums bildete. Eine solche Herausbildung von Stellen erhöhter Wärme, insbesondere ihr längeres Bestehenbleiben (wie es doch für die Umwandlung des Carnallitgesteins zu einem neuen Gleichgewichtstypus nötig ist) erscheint mir nicht wahrscheinlich. Ich möchte die oben erörterte Vorstellung hegen, daß die chemische Wandlung zu Hartsalz zufolge der Überlagerung der Salzmassen durch mächtige Bedeckung und Aufrücken einer geothermalen Temperaturzone von über 72° an Stellen einer Durchtränkung mit Wasser erfolgte und die von E. Seidl an sehr stark dislozierten Salzrücken beobachtete Lage von Hartsalzmassen sich dadurch erklärt, daß diese Gesteine zufolge ihres großen Gehaltes an plastischem Steinsalz und Sylvin bei starker Pressung besonders leicht an die Umbiegungsstellen der Falten hingestaut und hier abgeschnürt wurden.

Einen ganz anderen Standpunkt gegenüber den Erscheinungen des Salzaufstiegs nimmt R. Lachmann ein. Es kommt dem genannten Forscher insbesondere das Verdienst zu, die eigenartige rücken- und pfeilerartige Position vieler Salzlagerstätten in ihrer geologischen Umgebung wirksam betont zu haben; von den Motiven, welche er im Verein mit Arrhenius dem Empordringen der Salzlager zu Grunde legt, ist die Differenz der spezifischen Gewichte von Salz und Nebengestein, welche ersterm einen Auftrieb verleiht, bereits weiter oben gewürdigt und anerkannt. Dem zweiten Momente indeß, welches dem Aufstieg der Salzlager mit zu Grunde liegen soll, der Annahme nämlich, daß sie durch Lösen und Absatz emporsteigen und dabei eine molekulare Zufuhr von gelöstem Material aus stärker belasteten Regionen an Orte minderen Druckes, also eine Wanderung des Salzmaterials von Lösungs- zu Ausscheidungsräumen statt hat, vermag ich mich nicht anzuschließen. Findet man doch bei den Salzlagern auch höherer Niveaus den normalen geologischen Schichtenverband bewahrt und handelt es sich in ihnen doch außer um rekristallisierbare Stoffe z. T. um Materialien wie Ton (mit Versteinerungen) denen ein solches Umkristallisieren abgeht; sie können nur mechanisch hoch befördert, also emporgepreßt sein. Aber auch bei den rekristallisierbaren Stoffen dürfte der Effekt des Umkristallisierens nicht in einer Bewegung des Gesteinskörpers an andere Stellen der Erdkruste, vielmehr lediglich in einer inneren Gefügeveränderung ohne Ortswechsel des Ganzen bestehen. Die Platzveränderung des Gesteinskörpers ist ein mechanischer Erfolg der Pressung.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

4. Hydrothermale Pressungsmetamorphose.

Der durch die anfänglichen allgemeinen Darlegungen vorgezeichnete Weg führt nunmehr zur Betrachtung der Wirkung einer Kumulierung aller drei Motive der Gesteinsmetamorphosen, zur hydrothermalen Pressungsmetamorphose. Sie hat im Reiche der Silikatgesteine das gewaltige Ergebnis der Bildung kristalliner Schiefer zu Wege gebracht. Maßgebende Faktoren bei der Prägung dieser Gesteine waren Wasser (sei es abgespalten, vados oder im Sinne der WEINSCHENK'schen Annahme juvenil), erhöhte Temperatur und einseitiger nach der Tiefe zu mehr hydrostatischer Druck.

Sei darauf hingewiesen, daß die erwähnten drei Momente bei den Salzen gleichermaßen gewirkt und insbesondere die sehr verbreiteten parallel texturierten Hartsalze zu Wege gebracht haben. Wenn sich die Ergebnisse der hydrothermalen Pressungsmetamorphose bei ihnen nicht durch schiefrige Spaltbarkeit herausheben wie es bei vielen Gneisen, bei Glimmerschiefer und Phyllit der Fall ist, sondern nur durch Lagentextur, so liegt das an dem Fehlen normaler Weise lamellarer Komponenten, die bei dem kristallinen Schiefer zufolge von Zwangsorientierung eine ausgezeichnete Teilbarkeit der Gesteinsmassen bedingen. Weiterhin kommt in Betracht, daß das Agens Wasser, wie leicht verständlich ist, nicht sonderlich gleichmäßig in die großen Salzmassen eindrang, vielmehr nur Teile der ursprünglichen Lager in die Umwandlung hineinzog.

Von den in Rede stehenden kieseritischen Sylvinhaliten oder Hartsalzen wurde bereits oben berichtet, daß sie nicht als ursprüngliche Bildungen aufzufassen sind, vielmehr Sekundärsalze vorstellen; sie entstanden unter dem Einfluß von Wasser, das die Salzlager hier mehr, dort weniger reichlich durchtränkte und unter der Wirkung einer hohen Temperatur von über 72°, die sich einstellte, als eine mächtige Überlagerung die geothermale Tiefenstufe heraufrücken ließ. Das aus Steinsalz (NaCl), Carnallit ($KCl.MgCl_2.6H_2O$) und Kieserit ($MgSO_4.H_2O$) bestehende ursprüngliche Gestein wandelte sich in ein Gemenge von Steinsalz, Sylvin (KCl), Kieserit und $MgCl_2$-Lauge um. Wie das Ergebnis dieser Metamorphose sich jetzt darbietet, stellt es trotz des Materialverlustes ein kompaktes Gestein dar, dessen Gemengteile sich in zumeist wohlgeordneter Lagentextur aneinanderfügen. Die Chlormagnesiumlauge ist verdrängt. Im Hinblick auf die metamorphe Art der Gesteine kann diese deutliche Parallelstruktur nur eine Sekundärerscheinung und zwar Folge einer Pressung sein, die ihre Wirksamkeit auf das Produkt der

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

chemischen Metamorphose entfaltete, das einen geringeren Raum als das Ausgangsmaterial benötigte und zwischen den Platten der erhalten bleibenden Steinsalzbänke zusammen gedrückt wurde.

Die Ursache dieser Pressung wird man ein Mal in dem Hangenddrucke der überlagernden Gesteine sehen, dann aber auch in den Kräften, welche die Salzlager dislozierten; es ist nicht unwahrscheinlich, daß der senkrecht gerichtete Streß Anteil an der texturellen Umformung des chemisch verwandelten Salzmaterials hat. Es sackte unter dem Einfluß der Vertikalpressung in sich zusammen unter Verdrängung der überschüssigen Chlormagnesiumlauge. Bei den kristallinen Schiefern ist man, wie bekannt, wohl mit Recht im allgemeinen der Meinung, daß die Schieferungslagen in die vertikale oder schräge Ebene der Ausweichung vor der erdtangentialen Pressung fallen, wie es die Dachschiefer als sehr lehrhafte Zwischenstufe zwischen einem ursprünglichen Tongestein und den höher entwickelten Produkten der einschlägigen Metamorphose deutlich erweisen. Die für die Herausbildung der Schieferung erforderliche Möglichkeit des Ausweichens war bei den Silikatgesteinen allerdings wohl auch im Falle eines Hangenddruckes gegeben, wenn eine Volumverminderung bei der Metamorphose sich bekundete.

Im Überblick all der erörternden Verhältnisse läßt sich nicht verkennen, daß man bei den Salzen eine recht vollständig entwickelte Reihe der Metamorphosen aufstellen kann und sie auf bereits ziemlich breiter experimenteller Basis zu deuten vermag. Die Erscheinungen und Ursachen dieser Wandlungen sind in großen Zügen denen an metamorphen Silikatgesteinen analog. Daher kann man wohl hoffen, daß ein weiteres Verfolgen dieser Verwandtschaftsverhältnisse bei den experimentell leicht zugängigen Salzen die Lehre vom Metamorphismus fördern wird, entsprechend dem erfreulichen Einfluß, den das Studium der Kristallisation von Salzen aus Lösungen bereits auf die Vorstellungen über den Erstarrungsvorgang bei natürlichen silikatischen Schmelzflüssen ausgeübt hat.

Institut für Mineralogie und Petrographie
der Universität Leipzig.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Jahresbericht der Naturhistorischen Gesellschaft zu Hannover

Jahr/Year: 1911-1918

Band/Volume: 62-68

Autor(en)/Author(s): Rinne Friedrich

Artikel/Article: Metamorphosen von Salzen und Silikatgesteinen 2252-2269