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

I. Aufsätze und Mitteilungen.

Die physikalisch-chemischen Bedingungen bei der Bildung der Salzlagerstätten und ihre Anwendung auf geologische Probleme.

Von **Svante Arrhenius** (Stockholm) und **Richard Lachmann** (Breslau).

Wenn bereits heute, wenige Jahre nach Abschluss der bekannten van 't Hoff'schen Untersuchungen zur Bildung der ozeanischen Salzlagerstätten [1]), zwar die nicht Experimentalergebnisse, wohl aber deren Anwendung auf geologische Verhältnisse einer erneuten Untersuchung bedürftig erscheint, so ist dies eine Folge der durch den blühenden Kalibergbau ungeahnt vermehrten geologischen Beobachtungen.

van 't Hoff hat bekanntlich seinen Studien das Zechsteinsalzprofil von Stassfurt zugrunde gelegt, von welchem man annahm, dass es im wesentlichen in Form und Inhalt die ursprünglichen Salzsedimente seit der Zechsteinzeit erhalten habe. Mit der Erweiterung des bergmännischen Gesichtskreises traten aber die Abweichungen immer deutlicher hervor, so dass die gelegentlich des X. allgemeinen Bergmannstages im Jahre 1907 erschienene Monographie von Beyschlag-Everding „Zur Geologie der deutschen Zechsteinsalze" bereits drei selbständige Lagerstättentypen neben dem Stassfurter unterschieden hat. Es wird dort allerdings der Standpunkt vertreten, dass die beobachteten Abweichungen durch rein geologische Faktoren, namentlich durch Erosion zur Zechsteinzeit und spätere Gebirgsfaltung aus dem Stassfurter Urtypus ableitbar seien.

Bald machte sich aber von seiten der physikalischen Chemie [2]) der Widerspruch gegen einige dort geäusserte Schlussfolgerungen geltend, welche die Zusammensetzung der Kalisalzlager betrafen, und Zweifel wurden laut, ob die Lagerungsformen der Kaliflöze

[1]) Über die Literatur siehe R. Görgey, Die Entwickelung der Lehre von den Salzlagerstätten. Geolog. Rundschau II. 1911, S. 278—302.

[2]) Erdmann, Die Entstehung der Kalisalzlagerstätten. Kali 1908, S. 362.

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

durch mechanische Vorgänge bei der Gebirgsbildung ihre hinreichende Erklärung gefunden haben[1]).

Es schien deshalb angemessen, einige wichtige Punkte in der Salzfrage, die wegen der bestehenden Meinungsverschiedenheiten noch in einer recht unbefriedigenden Weise unklar sind, durch ein Zusammenarbeiten von physikalischer und geologischer Seite einer neuen Lösung entgegenzuführen; und so sollen im folgenden die geologischen Gesichtspunkte erörtert werden, welche in einem Briefwechsel der Verfasser zu einer Einigung geführt haben[2]).

Die Fragen, welche hier vornehmlich zur Behandlung kommen sollen, sind die nach der Bildungstemperatur der deutschen Kalisalzlager, nach der Ursache der heftigen inneren Deformation dieser ursprünglich flach sedimentierten Schichten, und endlich nach der Entstehungsweise der eigentümlichen Salzstöcke („Ekzeme"), welche in Norddeutschland, wie in manchen anderen Gegenden der Erde, die Salzmassen aus grossen Tiefen bis nahe an die Oberfläche gebracht haben.

A. Die Sedimentationsbedingung der Salzgesteine.

Die Schwierigkeit der Temperaturbestimmung beruht darauf, dass gewisse Salzkombinationen, besonders die aus Sylvin und Kieserit neben Steinsalz und Anhydrit bestehenden Hartsalze der deutschen Kalilager nach den Untersuchungen van 't Hoff's nur bei Temperaturen von über 70° sich bilden können, während das irdische Klima zur Bildungszeit der Kalisalzlagerstätten am Ausgange des Paläozoikums gerade ein überaus niedrig temperiertes gewesen ist. Dies gilt im verstärkten Masse für den Bereich Deutschlands.

Die Dyaszeit ist bekanntermassen eine der ausgedehntesten Perioden von Inlandvereisungen, welche man aus der Erdgeschichte kennt[3]). Glazialablagerungen sind sicher nachgewiesen in Südafrika, im nordwestlichen Indien und im südöstlichen Australien. Um lokale Gebirgsvereisungen handet es sich vielleicht in Westfalen, Kamerun und im Süden Brasiliens. Will man die sicheren Glazialgebilde durch eine Verschiebung des Südpols in die Mitte des heutigen indischen Ozeans mit Oldham, Kreichgauer, und Penck erklären, so steht man nach Frech und Koken der Schwierigkeit gegenüber, das Fehlen von glazialen Erscheinungen am damaligen Nordpol zu

---

[1]) Lachmann, Über autoplaste (nicht tektonische) Formelemente im Bau der Salzlagerstätten Norddeutschlands. Zeitschr. d. d. geol. Ges. 62. 1910, p. 113—116.

[2]) Die physikalischen Probleme sind behandelt unter dem Titel: Arrhenius. „Zur Physik der Salzlagerstätten", Meddel. k. Svensk. Akad. Nobelinst. Bd. 2, 1912. Nr. 20.

[3]) Koken, Indisches Perm und die permische Eiszeit. Neues Jahrb. f. M. Festband 1907, S. 446—546. Lethaea palaeozoica 2. Bd., S. 453. Vgl. auch die weiteren Funde von Dwykakonglomerat durch Stutzer in Katanga. Zeitschr. d. d. Geol. Ges 63. 1911. Monatsber. S. 626 ff.

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

erklären, der in Zentralamerika gelegen haben müsste. Hier deuten die faunistischen Erscheinungen (Fusulinen und reichentwickelte Brachiopoden) vielmehr auf ein warmgemässigtes Klima hin.

Bei einer Verschiebung des Nordpols um 70° auf dem 170. Meridian würde allerdings der Äquator das deutsche Zechsteinmeer durchschneiden, so dass das Auftreten hoher Temperatur an Wahrscheinlichkeit gewinnen würde. Aber auch hier sprechen faunistische und geographische Gründe für eine niedrige Temperatur und für eine der heutigen kongruente Lage des Nordpols.

Das deutsche Zechsteinmehr bildete im geographischen Sinne ein „Binnenmeer", welches von Russland her in westlicher Richtung durch Norddeutschland bis gegen den Osten England vordrang. Dieses Meer schneidet in einen grossen nordatlantischen Kontinent ein, welcher sich vom westlichen Europa aus über Grönland nach Nordamerika erstreckt hat. Er wurde südlich bespült von einem grösseren Mittelmeer, das seinerseits durch eine weit nach Osten bis nach Asien hinein sich erstreckende Halbinsel von dem Zechsteinmeer getrennt war.

Die Fauna am nördlichen Ufer dieses Mittelmeeres (Bellerophonkalke Südtirols, Sosiokalke von Sizilien) hat eine grosse Verwandtschaft mit den asiatischen Formen und zeigt durch ihre reiche Entwickelung ein wärmeres Klima an, welches durch Meeresströmungen aus Südosten beherrscht wurde. Dagegen ist die Tierwelt des deutschen Zechsteins eine Kümmerfauna, welche nur unter ungünstigen Lebensbedingungen existierte und offenbar dem Einfluss von kalten Meeresströmungen ausgesetzt war, die am Ostrande des nordatlantischen Kontinents sich entlang bewegten und für die Dürre des Klimas verantwortlich gemacht werden können. Im gleichen Sinne spricht die Verwandtschaft der Zechsteinfauna mit den etwas älteren Tierformen auf Spitzbergen.

Dem Zugang zum deutschen Zechsteinmeer lag an der Dwina eine Insel gegenüber, die von einer Glossopteris-Gangamopteris-Flora besiedelt war, wie sie auch in den Breiten der vereisten Gebiete gedieh.

Wir haben daher einiges Recht, die Tierwelt des deutschen Zechsteins unter Vergleich mit den Bedingungen ausgeprägter Klimazone als „arktische" oder „subarktische" zu bezeichnen.

Nach allem dürfte also die Durchschnittstemperatur der Atmosphäre vom geologischen Standpunkt aus eher auf unter als auf über 10° C eingeschätzt werden. Die heutige Jahresisotherme des Gebietes beläuft sich auf 9° C.

Aus mancherlei Gründen glauben wir an der Anschauung der Ausfällung der Zechsteinsalze aus dem genannten Zechsteinmeer festhalten zu müssen unter Anlehnung der Vorstellung ihrer kontinentalen Entstehung (Walther). Zunächst besteht eine räumliche Identität zwischen der Ausdehnung der Salzlager und der bekannten Ausdehnung der marinen Sedimente. Denn auch abgesehen von den

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

Versteinerungen im Salzton, der den Salzablagerungen direkt zwischengeschaltet ist, werden die Zechsteinsalze im Liegenden und Hangenden von marinen Sedimenten begleitet, welche nur im Westen etwas weiter reichen, als die salinaren Ablagerungen. Es ist deshalb in der geologischen Verbreitung der Salze an sich zweifellos kein Grund vorhanden, ihre marine Entstehung auf Grund der bekannten Ochsenius'schen Theorie zu bezweifeln.

Die Gegner dieser Anschauung berufen sich nun darauf, dass in der Jetztzeit durch Abschnürung von Meeresteilen keine nennenswerten Salzablagerungen zustande kommen, und dass die Salzlager keine Versteinerung enthalten. Dem ist entgegenzuhalten, dass bei der heutigen Verteilung von Wasser und Land Binnenmeere am Rande eines von kalten Meeresströmungen bespülten Kontinents überhaupt nicht vorhanden sind, so dass also die geographischen Bedingungen für die Abschnürung von grossen und flachen Meeresteilen in aridem Klima gar nicht vorliegen. Dass ein solches für die Bildung von Salzlagern irgendwelcher Art erforderlich ist, hat Walther mit Recht betont. Das Fehlen mächtiger Salzablagerungen in vielen geologischen Formationen beweist aber doch, dass durchaus nicht zu allen Zeiten die Möglichkeit einer Sedimentation von Salzschichten gegeben war; demnach ist an sich auch durchaus nicht auffallend, wenn heute nur in Steppengebieten auf den Kontinenten unreine und infolge der Winderosion vergängliche Salzdecken gebildet werden, die so garnicht an die Profile in den deutschen Salzbergwerken erinnern.

Zur Erklärung des Mangels an Versteineruugen im eigentlichen Salz braucht nur der Querschnitt der russischen Meerenge, welcher die Kommunikation zum Ozean darstellte, als genügend weit gedacht zu werden. Dann ist es sehr wohl verständlich, dass die Versalzung des Zechsteinmeeres allmählich erfolgte, so dass die einheimischen Meeresbewohner entsprechend den ungünstiger werdenden Lebensbedingungen zur Abwanderung genügend Zeit fanden, oder ausstarben.

Der Mangel an planktonisch eingeschwemmter Tierwelt ist schliesslich nicht verwunderlich, weil dieselbe ja im eigentlichen, in Russland gelegenen Zugangskanal oder in eben dort befindlichen Abzweigungen erhalten geblieben sein kann, wo sie uns noch unbekannt geblieben sind.

Für die scheinbaren Unstimmigkeiten chemischer Natur, welche zwischen der Ochsenius'schen Barrentheorie und dem van't Hoff'schen Kristallisationsschema bestehen, glauben wir weiter unten eine befriedigende Erklärung geben zu können, und es besteht um so weniger ein Grund von der älteren Vorstellung abzuweichen, als die Einheitlichkeit der ganzen Salzlagerstätte, welche keineswegs in einzelne Salzpfannen zerfällt, ferner der Mangel an Produkten der Erosion, hauptsächlich aber die Mengen der aufgespeicherten Salze gegen den von Walther

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

unternommenen Versuch sprechen, die Zechsteinsalzlager als kontinentale Bildung zu erklären.

Den letzten Einwand mögen ein paar Zahlen erläutern. Nimmt man nach sehr geringer Schätzung die durchschnittliche Menge der Anhydrite und Gipse in einem ungestörten Zechsteinprofil mit 50 m an, und schätzt man die ursprüngliche Verbreitung der Formation in Deutschland und der nächsten Umgebung auf 250000 qkm, so erhält man eine Menge von 12500 cbkm an Kalziumsulfaten.

Da die Sedimente des Zechsteinmeeres, welches kurz vor Ablagerung der Salze in den nordatlantischen Kontinent infolge von tektonischen Bewegungen, wie Koken vermutet, eingebrochen ist, in einem nur verhältnismässig schmalen Landstreifen zur Absatzzeit der Anhydrite blossgelegen haben, so kommt zur Ableitung dieser Sedimente zunächst nur die bei Verdampfung dieses Meeres direkt abgeschiedene Menge in Frage, welche bei einer durchschnittlichen Tiefe von 500 m nur den zweihundertsten Teil der beobachteten Massen hätte liefern können. Man fragt sich vergeblich, woher aus dem Boden des aus Trümmern der eingeebneten varistischen Gebirge und eruptiven Decken und Tuffen im wesentlichen zusammengesetzten nordatlantischen Kontinents weitere Mengen von gelöstem Gips abgeleitet werden könnten. Man vergegenwärtige sich auch, dass wenn auch die Wüstengebiete überall mit den eingetrockneten Salzen eines den Kontinentalsockel bedeckenden Meeres geschwängert gewesen wäre, bevor die Konzentration in der Richtung auf die deutsche Depression begann, sich das Wüstengebiet auf einer Fläche von etwa 50 Mill. qkm erstreckt haben müsste!

Wir glauben daher an der Vorstellung festhalten zu müssen, dass ein einheitlicher Verdunstungsprozess die Zechsteinsalzlager in einem Meeresteile ausgefällt hat, welche in einer durch tektonische Vorgänge behinderten Kommunikation mit dem Ozean stand, und wollen zunächst untersuchen, ob nicht die vorliegenden Salzkombinationen und Mengenverhältnisse durch Anwendung aktueller geologischer Vorgänge auf die Vergangenheit erklärbar sind.

Damit Sylvin und Kieserit nebeneinander wie im Hartsalz vorkommen, ist eine Temperatur von wenigstens 72° nach van't Hoff und Meyerhoffer bei der Bildung dieser Schichten nötig gewesen.

Man hat das Beispiel des Medvesees in Ungarn dafür herangezogen, dass solche Temperaturen auch in gemässigten Breiten vorkommen können, denn hier ist tatsächlich eine Temperatur von 71° gemessen worden. Diese Erscheinung ist aber nur dadurch erklärbar, dass das sich vom Boden her sättigende Salzwasser von einer oberflächlichen Süsswasserschicht bedeckt wird, welche eine Verdunstung — und damit natürlich auch eine Ausscheidung — ausschliesst [1]). Es muss daher nach einer anderen Erklärung gesucht werden.

[1]) Pompecky, Hohe Temperaturen bei Kalisalzen. Refer. Zeitschr. f. prakt. Geol. 1911, S. 166.

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

Leichter sind zweifellos die bestehenden quantitativen Abweichungen zu verstehen, welche in den Mengenverhältnissen der Salze im Ozean und der Salze im Stassfurter Profil bestehen. Zahlenmässig lassen sich diese Abweichungen etwa folgendermassen ausdrücken: Im Verhältnis zum Steinsalz liegen die zuerst ausgeschiedenen Kalksalze in etwa sechsfacher Menge vor, während die leichtlöslichen Kalium- und Magnesiumsalze nur in einem Drittel überliefert wurden. Gar nicht erhalten sind die grossen Mengen von Chlormagnesium, sowie noch eine Reihe von leichtlöslichen seltenen Bestandteilen des Meerwassers, vor allem die Jodsalze.

Zur Erklärung dieses Umstandes kommen zunächst rein geographische Faktoren in Frage. Schon im Verlaufe der Versteinung der Mutterlaugen kann eine Unterbrechung der Ausscheidung mit der Bildung der äolischen Sedimente eingetreten sein, welche zusammen mit den Spuren einer neuerlichen Meeresüberflutung den Salzton zusammensetzen.

Zweitens wäre an eine Veränderung des Klimas zu denken, derart, dass der Feuchtigkeitsgehalt des Luftmeeres eine weitere Verdunstung verhinderte.

Auch ist es möglich, dass ein Teil der leichtlöslichen Salze im Verlaufe der später zu schildernden Umbildungsvorgänge in Lösung ging und ausgepresst wurde.

Hingegen können Diffusionsvorgänge, welche etwa Konzentrations verschiedenheiten im Laugenbecken bewirkt und die löslicheren Salze über die russische Einschnürung in den Ozean zurückgeführt hätten, keine nennenswerte Rolle gespielt haben. Derartige Bewegungen würden nämlich so langsam vor sich gehen, dass sie selbst in geologischen Zeiten bei Entfernungen von auch nur mehreren Kilometern nicht mehr merkbar wären.

Etwaige Konzentrationsverschiedenheiten würden sich auch nur so lange halten können, bis das Ausfallen der ersten Salze erfolgt, weil schon durch das Umrühren beim Hinabsinken des Salzschlammes der Betrag der Diffusionsströmungen sich verwischen würde. Ein Rückdiffundieren von Salzen über die Barre würde ja nur zur Folge haben, dass das Wasser verdünnter würde; d. h. eine Rückauflösung könnte vielleicht erfolgen. Die wenigen Regentropfen, die gefallen sind, müssen wohl grössere Wirkung besessen haben.

Man könnte zur Erklärung der feinen Schichtung vieler Kalisalzlager ebenfalls auf die Vermutung kommen, dass übereinanderlagernde Lösungen verschiedener Salze nacheinander die Sättigung erreicht hätten, und dass dadurch die Überlagerung auf dem Boden zustande gekommen wäre[1]). Wahrscheinlich aber ist die Annahme, dass verschiedene Salze gleichzeitig aus einer Lösung an der Oberfläche aus-

---

[1]) Boeke, Über das Kristallisationsschema der Chloride etc. Zeitschr. f. Kristallographie 45, 1908, S. 346 ff.

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

gefällt wurden, und dass schon vor der Ablagerung bei dem vorhandenen grossen Fallraum eine Sonderung, sei es nach dem spezifischen Gewicht, sei es nach der Korngrösse oder dem Reibungswiderstand der Salzschlammteilchen gegenüber der Mutterlauge sich ergeben hat.

B. Die Umformung der Salzgesteine.

Aus dem Gesagten dürfte zur Genüge hervorgehen, dass es grosse Schwierigkeiten macht, den gegenwärtigen Inhalt der Kalilagerstätten mit ihren wahrscheinlichen Absatzbedingungen in Einklang zu bringen. Ausserdem aber bieten sich neue Schwierigkeiten, wenn man zur Erklärung der Formänderung schreiten will, welche die Salzlager seit ihrer Bildung erlitten haben. Die Salzgesteine sind im Gegensatz zu mechanischen Sedimenten, bei denen durchweg die parallele Schichtung erhalten geblieben ist, auch dort, wo die Gebirgsbildung die Gesteine als Ganzes noch so heftig disloziert haben mag, durch den regellosen Verlauf der ursprünglichen Schichtflächen ausgezeichnet. Die Stärke der Deformationen verschärft sich, wie an anderer Stelle nachgewiesen wurde[1]), in den Zechsteinsalzen in der Regel je mehr wir uns den leichtlöslichen Salzen, besonders den Carnallitlagern nähern, und hier sind es vornehmlich die freien Schnüre von Kieserit, welche als „Würmer", wie die Bergleute sagen, verzerrt sind.

Es ist noch bis vor kurzem die Ansicht vertreten worden, dass tektonische Kräfte die beobachteten Undulierungen verursacht hätten. So äussert sich Everding[2]), dass die Verschiedenheit der Umformung in dem verschiedenen Grade der Plastizität der vom Gebirgsdruck beanspruchten Salzmassen gesucht werden müsse. Während aber nach den Beobachtungen in der Natur der Carnallit gegenüber dem Steinsalz nach dieser Auffassung das plastischere Material sein müsste, haben die Versuche von Rinne gelehrt, dass in Wirklichkeit Carnallit bei Drucken, bei denen das Steinsalz schon vollkommen plastisch war, eine nur unvollkommene Umformung aufwies[3]).

Ein weiterer Einwand gegen die Anwendung dieser Versuche auf die beobachtete Formänderung in den Salzlagern ist dadurch gegeben, dass die Deformation von Kristallen in den Steinsalzlagern offenbar garnichts zu tun hat mit der Deformation der Schichtung. Bei so stark verbogenen Steinsalzschlingen, wie beispielsweise im Carnallitlager von Salzdetfurth[4]), ist an den Umbiegungsstellen von einer gleichsinnigen Biegung der Steinsalzkristalle nichts zu beobachten. Die Ausbildung von Translationsstreifung und

---

[1]) Lachmann, Der Salzauftrieb. Halle 1911, S. 53 ff.

[2]) Zur Geologie der deutschen Zechsteinsalze. Abh. geol. Landesanst. N. F. Heft 52, S. 49.

[3]) Über die Umformung von Carnallit. Koenen-Festschrift 1907, S. 369 ff.

[4]) Salzauftrieb. S. 60.

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

unregelmässigen Begrenzungsflächen der Kristalle in den Salzmassen[1]), mögen diese Erscheinungen nun durch mechanischen Druck oder infolge behinderter Auskristallisation zustande gekommen sein, ist deshalb zu trennen von der Deformation der Schichtung, deren Ursache am besten in einer Selbstumformung (Autoplastie) der Salze infolge von Volumenänderungen erkannt werden kann.

Auch die Bildung des sogenannten konglomeratischen Carnallits lässt sich wohl am besten durch chemisch-physikalische Einflüsse erklären.

Als erster hat Everding auf den merkwürdigen Umstand hingewiesen, dass in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle der Carnallit nicht in feiner Wechsellagerung mit Steinsalz und Kieserit, sondern als Grundmasse in einem tuffartigen, bankigen oder gänzlich strukturlosen Gestein auftritt, in dem er kleinere bis metergrosse Blöcke von Steinsalz und Brocken von Kieserit, Anhydrit und Salzton einschliesst.

Es ist unzweifelhaft, dass man bei erster Betrachtung, ausser an Tuffmassen, etwa an die regellose Schichtung von Muren oder von Geschieben reissender Wildbäche erinnert wird. Schwieriger ist schon der Vergleich mit marinen Brandungskonglomeraten, welche doch wohl niemals in solcher Mächtigkeit angetroffen werden[2]). Auch ist zu erwägen, dass die Übertragung von Beobachtungen an unlöslichen Gesteinen auf Salze doch mit Vorsicht geschehen muss.

Es wird sich aus direkten Beobachtungen wohl kaum feststellen lassen, wie Gerölle von Steinsalz auf zweiter Lagerstätte aussehen, weil bei der Erosion an Salzstöcken es heute nur zu Auslaugungen oder vielleicht zu Erdrutschen infolge von Unterspülung kommt. Aber die Beobachtungen von Kaiser in Cardona[3]) oder die Erfahrungen aus Steinsalzbergwerken, in welchen das Steinsalz durch Solverfahren gewonnen wird, machen doch das eine sicher, dass die mechanische Abrollung von Salzgesteinen beim Transport durch Wasser oder Laugen gegenüber der Anätzung nicht in Frage kommt. Erodierte und transportierte Salzlager müssten auf zweiter Lagerstätte, falls es überhaupt zu einem mechanischen Transport kommt, sich in Form eines Wirrwarres von zersplitterten zackigen und zerlaugten Zapfen und Graten ansammeln, könnten aber niemals die Form von wohl abgerundeten Geröllen annehmen, als welche sie heute an den verwitterten Stössen der Kalibergwerke heraustreten.

---

[1]) Rinne, Natürliche Translatationen an Steinsalzkristallen. Z. f. Krist. 50, 1912, S. 260.

[2]) Die Gewerkschaft Teutonia hat ein solches Carnallitlager in einer Mächtigkeit von über 150 m aufgeschlossen. Dagegen ist das Zechsteinkonglomerat, ein Zeuge einer wirklichen Abrasion zur Zechsteinzeit, nicht mehr als einige Dezimeter mächtig!

[3]) F. Kaiser, Das Steinsalzvorkommen von Cardona in Katalonien. N. Jahrb. f. Mineral. 1909, I, S. 14—27.

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

Es ist auch höchst unwahrscheinlich, dass der Salzschlamm schon kurz nach der Ablagerung das dort tatsächlich zu beobachtende feste Gefüge der „Gerölle" angenommen hat, wie es sonst erst durch lange wirkenden überlastenden Gebirgsdruck sich einzustellen pflegt.

Weitere Einwände aus einfachen geologischen Erwägungen heraus, aus denen mit Sicherheit hervorgeht, dass diese Lager bodenständig sein müssen, wurden an anderer Stelle gegeben[1]).

Gegenüber der Everding'schen Deutung war eben dort der Vorschlag gemacht, die Lagerungsformen der Hartsalze, welche den Prielen der Nordseewatten ähneln und der sandbankartigen Carnallitlager genetisch zu verwerten und diese Bildungen für autochthon zu erklären. Das scheinbare Konglomerat müsste dann als Konkretion der beteiligten Gemengteile in einer Mutterlauge von Chlormagnesium gedeutet werden.

Da es aber ganz offenbar ist, dass alle Lagerungsformen der Kalisalzlager im hohen Grade durch spätere Umbildungsprozesse modifiziert wurden, und es nicht leicht verständlich erscheint, wie etwa eine Wellenbewegung die verschiedenen Salze auseinandersondern und gleichartige Kristalle zu Brocken zusammensintern sollte, so ist diese Vorstellung verlassen worden und an ihrer Stelle die weiter unten gegebene getreten, welche gleichfalls der geologischen Forderung Rechnung trägt, dass die Hartsalze und Carnallite als autochthon anzusehen sind.

Es ist ein sicheres Ergebnis vielfacher Beobachtungen, dass den Salzen der Kalilager in hohem Grade die Eigenschaft der gegenseitigen Verschiebbarkeit zukommt. Wir sehen hierin nicht sowohl eine Äusserung der Plastizität der Kristalle im mechanischen Sinne, als vielmehr der Eigenschaft löslicher Körper, in Berührung mit ihrer Lösung durch Umkristallisation Ortsveränderungen vorzunehmen. Es entstehen hierdurch Deformationen der Schichtung, zu deren Erklärung man nicht einmal sehr grosse Drucke vorauszusetzen brauchte, falls nur die wirksamen Kräfte kontinuierlich tätig waren[2]). Der naheliegendste Vergleich ist der mit der Bewegung von Gletschern, wie ja auch bereits vor vielen Jahren Pfaundler die Rekristallisation mit der Regelation in Verbindung gebracht hat[3]).

---

[1]) Lachmann, Über die Natur des Everding'schen deszendenten Hauptsalzkonglomerats. Z. d. d. geol. Ges. 1910, 318—321.

[2]) Es dürfte doch nicht angängig sein, wie ich es an anderer Stelle versucht habe (Weiteres zur Frage der Autoplastie der Salzgesteine, Zentralbl. f. Min. etc. 1912, S. 47) das thermodynamische Prinzip von Riecke ohne weiteres zur Erklärung dieser Vorgänge heranzuziehen. Wie Riecke kürzlich ausdrücklich betont (Zur Erniederung des Schmelzpunktes, Zentralbl. f. Min. etc. 1912, S. 97) beziehen sich seine Gleichungen auf einen adiabatischen Prozess, während die geologischen Deformationen isothermisch verlaufen. L.

[3]) Über den weichen Aggregatzustand, Regelation und Rekristallisation. Ber. Wien. Akad. d. W. 73, 1876.

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

Die Deformationen der ursprünglich horizontalen Schichtung erreichen ihren Höhepunkt in den isolierten Salzstöcken, welche der Bergbau im eigentlichen norddeutschen Tiefland im Laufe der letzten beiden Jahrzehnte aufgedeckt hat. Sie stehen in einem zu auffallenden Gegensatz zu den flachen Schollenverbiegungen des deutschen Mittelgebirges, wie überhaupt der nordeuropäischen postvaristischen Formationen, als dass man auf eine von der üblichen tektonischen abweichenden Erklärung Verzicht leisten könnte; dieses um so weniger, als der Vergleich mit den Vorkommen von Salzstöcken in Louisiana, Algier und Siebenbürgen[1]) und die sichere Kenntnis, welche wir mit Hilfe der Tiefbohrungen wenigstens bei dem Vorkommen im Allertal[2]) von der Beziehung eines solchen Salzstockes zu seinem Untergrund haben, auch für die äussere Form der Salzmassen eine Erklärung durch Selbstformung zur Notwendigkeit macht.

C. Die Temperaturbestimmung.

Auf Grund der vorstehenden Erwägungen lassen sich unsere Anschauungen zu folgendem genetischen Bilde vereinigen:

Die Kalisalzlager des deutschen Zechsteins sind durch Verdunstung aus einem in behinderter Kommunikation mit dem Ozean stehenden Meeresteil zufolge eines ariden Kontinentalklimas abgelagert worden. Die Zusammensetzung und die Temperatur der Lösung war während des Versteinerungsprozesses eine im wesentlichen homogene. Es muss deshalb die Temperatur der Lösung etwa derjenigen der Atmosphäre entsprochen haben, welche aus geologischen Motiven heraus am besten auf 10° C anzusetzen wäre. Diese Annahme steht nicht im Widerspruch mit dem chemischen Befund, vielmehr glauben wir einen Beweis dafür gefunden zu haben, dass die Temperatur niemals 25°, wahrscheinlich sogar niemals 20° C erreicht hat, während nach den van 't Hoff'schen Daten keine Schwierigkeit besteht, die heutigen Kalilager sogar aus dem Kristallisationsdiagramm von 4,5° C abzuleiten. Da indessen die Verdunstung mit abnehmender Temperatur eine geringere wird, dürfte wohl eine so niedrige Isotherme nicht in Frage kommen.

Die Ausscheidungen des bei 10° C eingeengten Meeres müssen ursprünglich folgendes Salzprofil aufgewiesen haben:

---

[1]) Salzauftrieb S. 18 ff.

[2]) Kirschmann, Bau des Reihenekzems an der oberen Aller. Geol. Rundschau II, 1911, S. 110 ff.

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

Region:	Zusammensetzung in quantitativer Anordnung:
Bischoffitregion	Bischoffit, Reichardtit, Steinsalz. Carnallit.
Carnallitregion	Karnallit, Reichardtit, Steinsalz, Kainit.
Kainitregion	Kainit, Reichardtit, Steinsalz.
Reichardtitregion	Steinsalz, Reichardtit, Kainit.
Polyhalitregion	Steinsalz, Polyhalit.
Gipsregion	Steinsalz, Gips.
Basaler Gips	Gips.

Es ist höchst wahrscheinlich, dass der Ausscheidungsprozess aus einer der angeführten Ursachen unterbrochen wurde, bevor die Bischoffitregion und wenigstens z. T. die Carnallitregion entstehen konnte.

Die Kalisalze wurden von Salzton und von der jüngeren Salzfolge, weiterhin durch die Letten des oberen Zechsteins und die Sandsteine der unteren Trias eingedeckt.

Etwa zur mittleren Buntsandsteinzeit betrug die Mächtigkeit der überlagernden Schichten 700 m, und die Erwärmung der Salzsedimente war auf 32° gestiegen[1]). Bei dieser Temperatur zersetzt sich der Reichardtit in Kieserit ($MgSO_4 \cdot H_2O$) und 6 Moleküle Wasser. Es tritt eine molekulare Volumenzunahme um 11% ein, gefolgt von einer Kontraktion um nicht weniger als 62% bei der im Laufe der langen Zeit vor sich gehenden Verdunstung des Wassers.

Es ist wohl einleuchtend, dass diese gewaltigen Volumenänderungen nicht ohne heftige Verbiegung auch der umliegenden Schichten vor sich gegangen sind, die ja infolge des ausgetriebenen Wassers in Berührung mit ihrer gesättigten Lösung standen. Es bildeten sich daher Risse entlang den Schichtfugen des früheren Reichardtits, welche sich wohl hauptsächlich mit einer Lösung von Carnallit und Chlormagnesium füllten. Im Bereiche dieser Lösung muss auch die Umwandlung der Gipsschichten vor sich gegangen sein, deren Umwandlungspunkt in Anhydrit bei einer an Chlornatrium und Mutterlaugensalze gesättigte Lösung bei etwa 25° gelegen ist.

Die Steinsalzschichten deformierten sich durch Rekristallisation, und es entstand die undulierte Lagerungsform hauptsächlich im Bereich der heutigen Kieserit- und Polyhalitregion und in den geschichteten Carnallitlagern.

Die Intensität der Deformationen ist abhängig von der Geschwindigkeit des Umbildungs- und Verdunstungsvorganges derart,

[1]) Auch im Oberelsass, wo Görgey Kieserit im oligocänen Steinsalz fand, wurde die Umwandlungstemperatur von 32° erreicht. Nach Förster sind nämlich in den betreffenden Schichten in einer Schachtanlage Temperaturen von 42—48° gemessen worden. Übrigens hält G. seinen Kieseritfund nicht mehr aufrecht. (Briefliche Mitteilung.)

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

dass die grössten Deformationen auftraten, sobald die Abspaltung von Wasser gleichzeitig grössere Massen ergriff, und die Verdunstung nicht gleichen Schritt halten konnte. In heute ungestörten Lagen der Kieseritregion erfolgte die Umbildung Molekül für Molekül, indem die Kieseritkristalle an schon umgebildete sich anschlossen und das ausgetriebene Kristallwasser durch das Gewebe der entstandenen Risse zu kälteren Schichten hinüber destillierte und langsam abdunstete.

Der zweite Impuls zur Umwandlung war bei der Temperatur von 65° gegeben, entsprechend einer Mächtigkeit der Deckschichten von 1500 m etwa zur Muschelkalk- oder Keuperzeit.

Jetzt musste der bisher noch nicht umgewandelte Gips sein Wasser abgeben, weil die Umwandlung der Kalziumsulfate für sich allein bei der angegebenen Temperatur gelegen ist[1]).

Die Vergrösserung des Molekularvolumens betrug bei der Umwandlung zunächst 12 % und die nachfolgende Kontraktion 24 %; es entstanden damals die Deformationen der sogenannten Jahresringe in der Anhydritregion.

Die Zunahme und Abnahme an Volumen musste natürlich in gleicher Weise, aber zu verschiedenen Zeiten in den kompakten Anhydriten eintreten, welche die Basis und das Hangende der älteren Stassfurter Salzfolge bilden. Wenn hier die inneren Deformationen scheinbar nur von geringer Wirkung sind, so beweist dieses, dass der Deformationsvorgang vor allem inhomogene Salzgesteine betrifft, und dass erst die Rekristallisation der passiv beteiligten Salze die vor sich gegangene Umbildung anzeigt[2]).

Es ist klar, dass heute, nachdem die Zechsteinformation teilweise wieder in höhere Lage gerückt ist, der Anhydrit in Tiefen von weniger als 2000 m die instabile Modifikation des Kalziumsulfats darstellt. Eine Rückwandlung in Gips kann aber natürlich nur dort stattfinden, wo der Anhydrit mit Süsswasser, nicht mit Salzlösung in Berührung kommt. In Verwachsung mit Steinsalz ist Anhydrit bereits in Teufen von einigen 100 m die stabile Form.

Entsprechend dieser theoretischen Voraussetzung beobachten wir dann auch:

1. In den Auslaugungszonen über den Salzstöcken (Salzspiegel) eine Schicht von Gips, welche aber in der Nachbarschaft von Steinsalz in Anhydrit übergeht (siehe Everding: Zur Geologie der deutschen Zechsteinsalze. Abh. d. geol. Landesanst. Neue Folge, Heft 52, Taf. II, Fig. 4).

2. In der Salzmasse selbst durchwegs Anhydrit.

3. Im Liegenden der Steinsalzmasse Anhydrit.

---

[1]) Van t'Hoff, Zur Bildung der ozeanischen Salzablagerungen II, 1909, S. 16.

[2]) Daher auch das Mäandrieren der Steinsalzlager im heutigen Carnallit.

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

Hier müsste man aber wenigstens z. T. wieder Rückwandlung in Gips antreffen, weil doch auf einzelnen Spalten wenigstens in einiger Entfernung vom Salz Süsswasser zirkulieren dürfte. So ist es wohl zu erklären, dass aus dem Mansfeldischen eine Reihe von Bohrprofilen bekannt sind, in denen im liegenden Anhydrit Gipslagen nachgewiesen sind. Als Beispiel diene die nachfolgende Bohrung Amsdorf 6, welche mir von der Mansfelder Oberbergwerks- und Hüttendirektion gütigst zur Verfügung gestellt wurde.

Bohrung Nr. 6 bei Amsdorf.

+ 86,407 m über NN.

bis	16,30 m	Sand mit Kies	Diluvium
„	75,70 m	Ton mit Kies	Tertiär
„	163,70 m	Buntsandstein	Buntsandstein
„	212,00 m	Gips	Oberer Zechstein
„	1288,90 m	Älteres Steinsalz	
„	1291,50 m	Anhydrit	Mittl. Zechstein
„	1295,00 m	Stinkstein	
„	1302,00 m	Stinkstein mit Gips	
„	1303,30 m	Reiner Gips	
„	1322,00 m	Anhydrit mit Stinkstein	
„	1337,00 m	Weisses kristallinisches Steinsalz	
„	1378,50 m	Anhydrit	
„	1382,00 m	Zechstein und Fäule	Unt. Zechstein
„	1382,54 m	Kupferschieferflötz	
„	1383,00 m	Weissliegendes	Rotliegendes.

Infolge der starken Verzögerung bei der Austreibung des Wassers aus Gips ist es recht wahrscheinlich, dass die Abdunstung des Wassers noch nicht beendet war, als, bei einer weiteren Zuschüttung um 250 m Sedimente, die Umwandlungsgrenze von Kainit in Carnallit mit 72° erreicht war.

Die Ausscheidung von Carnallit geschah unter Aufzehrung der von den früheren Umwandlungsprozessen in den Rissen stehenden Lösung, welche ähnlich, wie die heutigen „Urlaugen“ vorwiegend aus Chlormagnesium bestanden haben muss.

Wo dieses fehlte, blieb die Umsetzung in Carnallit aus, und es entstand bei weiterer steigender Temperatur (bis auf 83°) ein Mineralgemenge von Sylvin und Kieserit, das heutige Hartsalz.

Die Volumenzunahme beträgt hier nur 1,1 %, bei Bildung von Carnallit 5,5 %, und die Volumenabnahme nach der Verdunstung des Wassers 13,5 %.

Die deformative Wirkung war diesmal eine sehr bedeutende, weil der Neubildung der Kalisalze zunächst eine vollkommene Ver-

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

flüssigung vorausgeht, und weil die Umbildung sich in bedeutenderen Massen abspielte, als bei der Bildung von Kieserit und Anhydrit.

Wo Hartsalze entstanden, scheint die „Schmelzung" des Kainits stets grössere Lagerteile ergriffen zu haben. Die ursprünglich dem Kainit zwischengelagerten Steinsalzbänke trennten sich von der schmelzenden Kainitmasse und bildeten das für manche Hartsalzlager charakteristische Fundament aus sogenanntem „deszendenten" Steinsalz. Hierdurch erklärt sich auch die Anreicherung des Kaligehaltes im Hartsalz. Im Carnallit scheint die Erstarrung nach der Kainitschmelzung eine diskontinuierliche gewesen zu sein. Es wurde zum grossen Teil die Struktur vollkommen zerstört und es bildeten sich in der Grundmasse von Carnallit neben den Resten des zersprengten Steinsalzlagers und Salztonstücken Konkretionen aus Steinsalz, Kieserit und Anhydrit. Wir führen für diese Struktur den Namen „Gemengecarnallit" ein, da der Begriff Konglomerat (Everding's Hauptsalzkonglomerat) einen mechanischen Transport involviert.

Es liegt ausserordentlich nahe, für gewisse geschichtete Carnallite, wie sie typisch im Hangenden der konglomeratischen in Stassfurt, Salzdetfurth und Wilhelmshall zu finden sind, eine ursprüngliche Entstehung anzunehmen. Ist diese Auffassung zutreffend, so würde die hier auftretende Deformation des Kieserits darauf hinweisen, dass sich die stark gewässerten Magnesiumsulfate paragenetisch mit Carnallit ausgeschieden haben, welches im 25°-Diagramm van t'Hoff's noch nicht zutrifft. Erst bei 18° verschwindet Kieserit[1]).

Bei dieser Vorstellung ergibt sich also nach dem chemischen Befunde etwa 20° als die o b e r e Temperaturgrenze für die ursprüngliche Ausscheidung.

Das Vorkommen von Langbeinit neben Sylvin und Kieserit beweist, dass wenigstens in einigen Lagerteilen die Temperatur durch Erderwärmung auf über 85° gestiegen ist.

Die beschriebenen Umbildungsvorgänge sind nicht reversibel im Gefolge einer späteren Heraushebung und Abkühlung der Salzschichten. Die grossen Mengen ausgetriebenen Wasser sind nämlich inzwischen verdunstet oder als Lösung von Chlormagnesium aus den umgebildeten Schichten ausgepresst. Erst im Bereiche des Grundwassers, in den sogenannten Hutzonen, sehen wir den alten Zustand, insbesondere Kainit wieder hergestellt. Die starke Volumenausdehnung bei der Rückbildung mag auch dazu beigetragen haben, dass die Risse zugepresst wurden, und dass die Umbildung auf die hangendsten Partien beschränkt blieb. Auch die Entstehung von Gips in 1300 m Teufe, von der oben die Rede war, ist zu den Erscheinungen der Hutbildung zu rechnen.

Es wurde an anderer Stelle[1]) der Nachweis geführt, dass die Deformationen durchweg älter sind, als die Eingriffe der Gebirgs-

---

[1]) Van t'Hoff, l. c. I. S. 61.

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

bildung. Diese Beobachtung ist nach der hier entwickelten Anschauung leicht verständlich, welche die Ausbildung der inneren Deformationen etwa in die Triaszeit zurückversetzt.

D. Erklärung der Ekzeme.

Als wesentliche Kraft bei der Bildung der Salzstöcke haben wir den Salzauftrieb[1]) erkannt, d. h. eine als Wirkung der Schwerkraft der Erde sich kenntlich machende vertikale Kraft, welche im Schwerpunkt der Salzmassen angreift und sie gegenüber den umliegenden und spezifisch schwereren Erdmassen aufwärts bewegt.

Wir haben im kleinen eine Äusserung der Isostasie in der Erdrinde vor uns.

Der Auftrieb kann nur in Erscheinung treten bei Vorhandensein einer Verschiebbarkeit sowohl des Salzes selber, wie der Deckschichten.

Die Beweglichkeit der Salzmassen in sich beruht auf der Leichtigkeit der Rekristallisation bei kontinuierlichen Druckunterschieden. Unter minder belasteten Deckschichten, unter denen eine Lockerung des Gefüges der Salzschichten besteht, erfolgt eine molekulare Zufuhr von gelöstem Material aus stärker belasteten Regionen, welche sich an Orten minderen Druckes zum Ausgleich der Spannung wieder ausscheidet. Eine langsame Wanderung des Salzmaterials von Lösungs- zu Ausscheidungsräumen ist die Folge.

Die Druckunterschiede werden natürlich durch Einwirkung von aussen geschaffen. Die Einwirkungen können tektonischer Natur sein oder durch das Grundwasser hervorgerufen werden.

Der Salzauftrieb im Gefolge der Gebirgsbildung macht sich zunächst dadurch kenntlich, dass auf den Suturlinien zwischen den einzelnen Versenkungsbecken Nord- und Mitteldeutschlands[2]) eine „ekzematische“ Anschwellung des Zechsteinsalzlagers eintritt. Die Mächtigkeiten im älteren Steinsalz, welche ausweislich des Bohrloches bei Unseburg auf dem Stassfurter Sattelgrat vorliegen, sind zweifellos erst durch solche Einflüsse zu erklären.

Ähnliche Verhältnisse liegen vor am Dorm, unter dem Hildesheimer Wald und an der mittleren Leine zwischen Freden und Eime.

Die nordwestlich gereihten Ekzeme nördlich von Hannover sind aus solchen durch Salzauftrieb deformierten Sattelgraten hervorgegangen, und bei Beienrode und Wunstorf (Sigmundshall) kann man im Zweifel sein, ob man die senkrechten, nordwestlich streichenden Salzsäulen noch als Sattelgrate oder als aus ihnen hervorgegangene „Reihen-Ekzeme“ bezeichnen soll, weil die Vorkommen nur noch in

---

[1]) Salzauftrieb, S. 126 ff.

[2]) Über meine tektonische Auffassung vgl. Salzauftrieb S. 83 ff. Einwendungen sind von Stille erhoben worden (Die Faltung des deutschen Bodens. Kali 1911). L.

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

der Lage, nicht aber mehr in der Form, ihren Entstehungsgrund verraten.

Eine zweite Form tektonisch angelegter Reihen-Ekzeme hat kürzlich Kirschmann beschrieben. Im Allertal baut sich ein solches nicht auf einem Sattelgrat, sondern auf einer Flexur auf, welche spätestens zu jungtriassischer Zeit gebildet wurde.

Das Alter der Ekzeme ist in vielen Fällen durch Transgressionsvorgänge festzulegen. Geht nämlich hauptsächlich in Zeiten einer negativen Strandverschiebung, in dem Kampf, welcher zwischen dem Auftrieb des Salzes und seiner Auflösung durch Grundwasser besteht, der Auftrieb als Sieger hervor, so bilden sich Hügel und Kuppen von durchschnittlich 1 km Durchmesser in der Landschaft über dem Salze aus. Solche Hügel sind in der Küstenebene am mexikanischen Golf unter dem Namen „Isles" bekannt. Sie kommen, wenn auch weniger deutlich, bei uns in Norddeutschland vor bei Lüneburg, Segeberg, in der Nordsee (Helgoland) und in Posen (kuppenförmige Erhebungen bei Hohensalza, Exin und Wapno). Das Beispiel von Helgoland erklärt, wie solche Erhebungen über Ekzemen durch Meerestransgressionen über ältere Deckschichten gekennzeichnet werden. In Louisiana würden sich sogar bei einer geringfügigen Strandverschiebung Meeressedimente auf blankes Ekzemsalz auflagern.

So ist es auch im Allertal zur Zeit des mittleren Keupers mit Sedimenten geschehen, welche heute, nach einer wechselvollen Geschichte des Salzvorkommens, in einem Auslaugungsgraben über dem Salzkörper erhalten geblieben sind.

Das Vorkommen im Allertal steht nicht vereinzelt da. Eine Trangression von mittlerem Keuper lässt sich auch nachweisen bei Fallersleben und noch älter (mittlerer Muschelkalk) ist ein ähnliches Vorkommen eines allerdings bereits „vernarbten" Ekzems in Niederhessen, über welches demnächst ausführlicher berichtet werden soll.

Das eigentliche Verbreitungsgebiet der Salzstöcke ist das norddeutsche Tiefland, wo sie sehr häufig ganz isoliert auftreten.

Es erhebt sich nun die bei der Verhülltheit des Untergrundes schwer zu klärende Frage, ob diese Vorkommen zwar nicht in ihrer Bildung, wohl aber in ihrer Lage tektonisch vorherbestimmt sind. Die Frage ist nicht schon dadurch gelöst, dass man etwa Lüneburg und Helgoland durch eine „herzynische" Linie verbindet, die nun im guten Glauben hingenommen werden muss.

Durch Vergleich von Bohrungen und bergbaulichen Aufschlüssen auf dem Bernburger Plateau, aus der Gegend von Bleicherode und im Mansfelder Seekreis lässt sich ersehen, dass auch ohne tektonisch bevorzugte Lage ganz auffällige Mächtigkeitsschwankungen der Zechsteinsalzlager auftreten können.

Es ist deshalb auch bei den Salzstöcken im Tiefland in allen Fällen die innere und äussere Form, in vielen Fällen wahrscheinlich auch

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

die Lage nicht durch gebirgsbildende Vorgänge, sondern auch durch Einwirkung des Grundwassers autoplast bedingt, was physikalisch wohl erklärlich erscheint[1]).

Die Wirkung des Salzauftriebs ist im einzelnen Falle in erster Linie abhängig von den inneren und äusseren Reibungsverhältnissen des aufsteigenden Salzkörpers. Es leuchtet ein, dass bei einer nach oben zu konvergierenden Lage der Begrenzungsflächen der Salzstock sehr bald zum Stehen kommen muss. Dies trifft zu beispielsweise beim Ekzem Fallersleben, welches an seinem Kopf von unter 20—50° einfallenden Deckschichten umgeben ist und seit der Gipskeuperzeit scheinbar nur wenig mehr gewachsen ist.

Bei anderen Vorkommen hat der Salzstock eine senkrechte, ja überkippte Lagerung gegenüber der Umgebung angenommen. Die Begrenzungslinie eines reifen Ekzems ist die sogenannte Schwanenhalskurve oder eine S-Linie, wie sie Posepny[2]) aus Siebenbürgen beschrieben hat und wie sie auch im Allertal und bei Hannover konstatiert werden kann[3]).

Die Ausbildung von senkrechten Schrammen an der polierten Grenzfläche, das Mitführen von losgerissenen Fetzen von Nebengestein, das Entlangspülen von Salzwasser am Kontakt und endlich die Ablagerung der mitgeschleppten Gesteinsbrocken oberhalb der als Salzspiegel bezeichneten Auslaugungsgrenze des Salzkörpers — alle diese Erscheinungen sind eben so viele Vergleichspunkte mit dem physikalisch vollkommen analogen Gletscherphänomen. Wie beim Gletscher, ist auch bei den Salzmassen die Geschwindigkeit der Bewegung, abgesehen von Einflüssen der Reibung, eine Funktion von Querschnitt und Länge des Salzstroms. Im allgemeinen ergibt sich also eine Beschleunigung der Bewegung im Laufe der geologischen Zeiten. In Norddeutschland kann die Geschwindigkeit, gemessen an der Mächtigkeit der unlöslichen Ausscheidungen unter den Transgressionen aus der oberen Kreidezeit, mit etwa 1 m in 10—50000 Jahren eingeschätzt werden. Wie weit die direkten Messungen durch Feinnivellements zum Ziele führen, welche Harris[4]) an den Ekzemen von Louisiana ausführen lässt, muss abgewartet werden.

Die innere Struktur der Ekzeme wird beherrscht von den wechselnden Reibungsverhältnissen des Salzstockes in den verschiedenen Querschnitten. Da weiter die spezifische Gewichtsdifferenz zwischen Deckschichten (2,4—2,6) und Steinsalz (2,16) nur etwa

---

[1]) Arrhenius, l. c. S. 14 ff.

[2]) Studien aus dem Salinargebiete Siebenbürgens. Jahrb. d. Geologischen Reichsanstalt XXI. 1871, S. 162.

[3]) Über Einzelheiten, besonders über Erschöpfung und über „Vernarbung" von Ekzemen soll demnächst in der Zeitschrift „Kali" ausführlicher berichtet werden.

[4]) Economic Geology IV. 1909. S. 30 ff.

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

doppelt so gross ist, als zwischen Steinsalz und Carnallitlagern (2,03)[1], so ist leicht verständlich, dass die Carnallitmassen aus der Tiefe bei der Aufwärtsbewegung voreilen[2]. Endlich spielt bei der Geschwindigkeit des Auftriebs natürlich auch die Rekristallisierbarkeit, also die verschiedene Löslichkeit der Schichten eine grosse Rolle.

Aus allen diesen inneren Verschiedenheiten der Salzschichten resultieren innerhalb der Ekzeme Differentialströmungen in vertikaler Richtung, welche sich in den stehenden Falten der norddeutschen Kalisalzlager[3] in so überwältigender Weise zu erkennen geben.

E. Zusammenfassung.

A. Erklärung der inneren Deformationen der Salzlager.

1. Es wird davon ausgegangen, dass die Zechsteinsalze in einem abgeschnürten Meeresteil bei einer Temperatur von unter 20° zur Ablagerung gekommen sind. Die durchschnittliche Temperatur mag 10° betragen haben.
2. Die Abweichungen von der durch van't Hoff festgestellten Kristallisationsfolge der Meeressalze erklären sich:
   a) quantitativ durch geologische Veränderungen während und nach Abschluss des Kristallisationsprozesses,
   b) qualitativ dadurch, dass die Salzlager im Laufe des Mesozoikums durch mehrere Kilometer mächtige Sedimente eingedeckt wurden und unter dem Einfluss der Erdwärme z. T. ihr Kristallwasser verloren, z. T. zu neuen Mineralverbindungen zusammentraten.
3. Infolge der dabei auftretenden Volumenänderungen stellten sich Druckverschiedenheiten ein, denen die Salzgesteine in Berührung mit dem freigewordenen Wasser als Kristallbrei durch Verbiegung der Schichtung nachgaben. Derartige Vorgänge, nicht der hypothetische faltende Gebirgsdruck, haben die beobachteten inneren Deformationen der Salzlager hervorgerufen.
4. Die Umwandlungen machten sich am radikalsten in der heutigen Carnallitregion der Kalisalzlager geltend. Hier wurde grossenteils der ursprüngliche Schichtenverband vollkommen zerstört, und es entstand die von Everding als „Hauptsalzkonglomerat" beschriebene Gesteinsstruktur.

B. Erklärung der äusseren Deformationen der Salzlager.

5. Das Grundwasser bewirkt lokale Auflösungen der Salzlager, welche aber in grösseren Tiefen nicht, wie etwa bei Kalken,

---

[1]) 55% Carnallit, 25% Steinsalz, 20% Kieserit.

[2]) Beispiele aus Beienrode und Desdemona in „Salzauftrieb" S. 74 ff. Fig. 28. Wahrscheinlich haben die Akkumulationen von Carnallit in den Schächten von Jessenitz und Teutonia die gleiche Ursache.

[3]) Salzauftrieb S. 79—82.

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

zur Entstehung von Hohlräumen führen. Vielmehr werden infolge von Druckverschiedenheiten bei der leichten Verschiebbarkeit (Rekristallisations-Plastizität) der Salzmassen die entstehenden Hohlräume in statu nascendi geschlossen.

6. Im weiteren Fortgang der subterranen Salzauflösung tritt rings um die Angriffspunkte des Grundwassers eine Mächtigkeitsabnahme in den Salzlagern ein. Alsbald macht sich die Schwerkraft geltend, indem die spezifisch leichteren, in sich beweglichen Salzmassen von einem Auftrieb gegenüber den schwereren Deckschichten ergriffen werden.
7. Der Salzauftrieb formt die Steinsalzmassen zu zylindrischen Körpern (Ekzemen), welche bei ständiger randlicher Auflösung in langsamem Aufsteigen die hangenden Schichten emporheben. Im Niveau der oberen Hauptauflösung bildet sich eine Gleichgewichtsfläche aus, der sogenannte Salzspiegel, über welchem die unlöslichen Bestandteile der Ekzeme aufgestapelt werden.
8. Die Bildung von Ekzemen wird durch tektonische Vorgänge (Brüche, Flexuren) begünstigt, so dass Ekzeme häufig in reihenförmiger Anordnung entstehen.
9. Durch die wechselnden Verhältnisse der äusseren und inneren Reibung, ferner durch die Zusammensetzung der Salzstöcke aus spezifisch leichteren und schwereren, mehr oder minder löslichen Salzarten werden Differentialbewegungen innerhalb der Ekzeme bewirkt, welche sich als stehende Falten von teilweise sehr grossen Dimensionen in den Kalibergbauen kenntlich machen.

Keine diluviale Eiszeit in Japan.

Von **Richard Lepsius** (Darmstadt).

M. Yokoyama, Professor der Geologie an der Universität in Tokio, behandelt im Oktober-Heft 1911 des Journal of the College of Science, Imp. University of Tokio die klimatischen Veränderungen während der pliozänen und diluvialen Stufen in Japan. Dabei berührt er auch wieder die bekannte Tatsache, dass auf den japanischen Inseln keine Spuren einer diluvialen Eiszeit nachzuweisen sind. Er fragt darüber S. 3 (in deutscher Übersetzung aus dem Englischen), nachdem er die Ausbreitung der diluvialen Gletscher in Nord-Europa und Nord-Amerika erwähnt hat:

„Ein denkender Geist sieht sich hierüber natürlich veranlasst zu fragen, ob dieser Stand der Dinge auf die beiden oben genannten Kontinente“ (Europa und Nordamerika) „beschränkt oder eine weltverbreitete Erscheinung in der Natur war — in welchem Falle die

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Geologische Rundschau - Zeitschrift für allgemeine Geologie

Jahr/Year: 1912

Band/Volume: 3

Autor(en)/Author(s): Arrhenius Svante, Lachmann Richard

Artikel/Article: Die physikalisch-chemischen Bedingungen bei der Bildung der Salzlagerstätten und ihre Anwendung auf geologische Probleme 139-157