

MEDDELANDEN
FRAN
K. VETENSKAPSAKADEMIENS NOBELINSTITUT
BAND 2. N:o 20.

Zur Physik der Salzlagerstätten.

Von

SVANTE ARRHENIUS.

Mit 4 Figuren im Texte.

Vorgelegt am 7. November 1911.

I. Übersicht der Sachlage.

Die rasch zunehmende wirtschaftliche Bedeutung der Salzablagerungen hat ein eingehendes Studium derselben in jüngster Zeit veranlasst, welches sowohl von geologischer Seite, besonders von EVERDING und LACHMANN, als auch von physikalisch-chemischer Seite, besonders in den umfassenden Untersuchungen von VAN'T HOFF und seinen Schülern, durchgeführt wurde. Dabei ist es wohl auch zu Meinungsdifferenzen zwischen den Forschern dieser beiden Studienrichtungen gekommen, wodurch es deutlich hervortritt, dass einige bei der Bildung der Salzablagerungen mitwirkenden Umstände nicht genügend berücksichtigt oder aufgeklärt worden sind.

Herr LACHMANN hat meine Aufmerksamkeit auf diese Schwierigkeiten gerichtet und meine Meinung über die physikalische Deutung derselben nachgefragt. Durch diese Anregung, für die ich wegen der äusserst interessanten Erscheinungen auf diesem Gebiete sehr dankbar bin, wurde ich veranlasst, die betreffende Literatur zu studieren, und bin zu dem Schluss gekommen, dass es wohl möglich erscheint, die genannten Schwierigkeiten durch einfache und höchst wahrscheinliche Annahmen zu beseitigen, wie aus dem unten gesagten wohl hervorgehen wird.

Die Hauptschwierigkeiten scheinen die folgenden zu sein.

1) Im Hartsalz kommen neben Carnallit und Steinsalz Kieserit und Sylvin vor. Nach VAN'T HOFF können solche Salzlager nicht unter 72° bestehen. Es ist aber sehr unwahrscheinlich, dass die Temperatur der ozeanischen Wassermassen, aus welchen diese Salzlager ausgeschieden sind, eine so hohe Temperatur besessen haben. Auch andere Erscheinungen in der Salzlagerfolge werden als nicht mit einer Einengung von Meeresswasser unter 30° C. übereinstimmend angegeben.

2) Die Hartsalzlager bestehen aus einer Hauptmasse von Carnallit, in welche grosse Brocken von Steinsalz, Salzton und Kieserit eingebettet sind. Bisweilen kommen Kieserit und Sylvin in unregelmässig gewundenen Bändern im Carnallit-Bett vor, während das Steinsalz teils in solchen Bändern, teils auch in anscheinend ungestörten Schichten vorliegt (Stassfurt).

3) Isolierte Salzmassen kommen normaler Weise in Hügeln, Horsten oder Säulen vor, die aus der Tiefe hinaufgedrungen sind und dabei häufig die oberliegenden Schichten aufgerichtet und bisweilen sogar umgebogen haben. Diese Wirkung ist oft so stark hervortretend, dass sie in älteren Zeiten zur Vorstellung einer vulkanischen Bildungsweise der Salzlager Anlass gegeben hat.

4) Die obersten Salzmassen sind bei solchen Aufreibungen durch eine starke Verschiebung der Schichten ausgezeichnet, während tiefere Salzschichten anscheinend gänzlich in ihrer gegenseitigen Lage geblieben sind. Die unmittelbaren Umgebungen dieser Salzaufreibungen führen häufig Petroleum oder gasförmige Kohlenwasserstoffe (bisweilen auch feste bituminöse Bildungen).

2. Die Eigentümlichkeiten der Hartsalzlager.

Um die Schwierigkeit bezüglich der Ausscheidung von Hartsalz zu entfernen ist es hervorgehoben worden, dass vielleicht die Temperatur bei dem Absetzen der Salzkristalle 72° oder mehr erreichte, da A. v. KALECZINSKY im Medve-See in Ungarn Temperaturen von 71° beobachtet hat, und man meint, dass die Temperatur der Meeresteile, aus welchen die Stassfurter Salzlager abgesetzt sind, zufolge der damals herrschenden höheren Temperatur vielleicht etwas höher gewesen sein könnte. Diese

Erklärungsweise scheint eine gewisse Beliebtheit gewonnen zu haben, weshalb ich etwas näher unten auf sie eingehe.

Die von KALECZINSKY angeführte Erscheinung ist eines von den schönsten Beispielen bezüglich der sogenannten Glas hauswirkung. Die Sonnenstrahlen dringen in's Wasser hinein. Die Tiefe, bis zu welcher eine nennenswerte Wärmemenge hineindringt, ist nicht sehr gross — sie beträgt nur ein paar Meter. Die Strahlung wird da absorbiert und nur in verschwindender Menge ausgestrahlt, weil die Strahlen von den nächstliegenden Schichten, die fast dieselbe Temperatur besitzen und deshalb fast ebenso viel zurückstrahlen, vollkommen absorbiert werden. Danach ist die Wärmeleitung die Hauptquelle zur Ausgleichung der Temperatur und die Wärmeleitung in Flüssigkeiten ist sehr gering. Die Umrührung, welche in den meisten anderen Fällen die überwiegende Wirkung ausübt, kommt in diesem Fall nicht in Betracht, weil die Dichte der höheren Wasserschichten sehr schnell nach unten zunimmt, wie die folgende Tabelle zeigt. In der obersten Schicht ist die Wirkung der Sonnenstrahlen eine andere, die Wassermassen dunsten da ab und der See erhält an der Oberfläche ungefähr dieselbe Temperatur wie die Umgebung. Die durch Abdunstung und durch folgende Nachtkälte abgekühlten und konzentrierten Wasserschichten, die dadurch dichter geworden sind, sinken jedoch nicht, wie in gewöhnlichen Seen, weil über dem Salzwasser das stets erneuerte süsse Wasser von Bächen dahinfliest. Folgende Daten stammen vom 25. Juli 1901, wobei die Seewässer noch nicht ihre höchste Temperatur erreichten. Die Temperatur der heisstenen Schicht, welche am 25. Juli 1901 56° C. betrug, erreichte am 14. Sept. 1898 65° C. und sank während des folgenden Winterhalbjahres auf 26° C. (2. April 1899). Im kältesten Winter belegt sich der See mit einer Eisdecke. Die unten gegebenen Dichten beziehen sich auf dieselbe Temperatur (4° C.).

Tiefe (m.)	Spez. Gewicht	Salz-Gehalt	Temperatur	Tiefe (m.)	Spez. Gewicht	Salz-Gehalt	Temperatur
0—0,04	1,0—1,016	0—2 %	21° C.	2,32	1,088	24,9 %	47° C.
0,10	1,038	5	—	3	1,08	24,9	39
0,42	1,140	19	39	5	1,199	25,8	31
0,52	1,156	21	45	7	1,197	26,0	29
0,72	—	—	50	10	1,196	25,8	23
1,00	1,176	23,4	54	12,3	1,194	25,5	20
1,32	1,180	24,2	56	41,8	1,194	25,5	19
1,82	1,186	24,5	53				

In den tiefsten Schichten scheint wieder eine Abnahme des Salzgehaltes und damit des spezifischen Gewichtes (bei 4°) der Wasserschichten stattzufinden. Die Lage wäre nicht stabil, falls nicht die Temperatur vom Dichtemaximum bei 7 m ab nach unten (bis zu 12,3 m) um 9° bis 10° C. abnähme. Unter 12,3 m scheint das Wasser konstante Zusammensetzung und fast konstante Temperatur zu besitzen. Nach allem Anschein bleibt die Wassertemperatur am Boden während des ganzen Jahres unverändert.

Diese ausserordentlich interessante Erscheinung beruht offenbar darauf, dass das Wasser an der Oberfläche nie gesättigt wird, und infolgedessen auch die anderen Schichten, von welchen keine Verdunstung geschieht, ebenfalls nicht. Der höchste Salzgehalt beträgt 26 Prozent und Kochsalz ist bei 19° zu 26 Prozent löslich. Aus einem solchen See können infolgedessen keine Salze sich ausscheiden.

Man hat auch eine andere Erklärungsweise der Hartsalzbildung bei niederer Temperatur (etwa 25° C.) aufgesucht. Zu primär abgesetzten Schichten von Carnallit und Kieserit kann von der Erdoberfläche aus Wasser hinzugeflossen sein und aus dem Carnallit ($MgCl_2 + KCl + 6H_2O$) das leichtlösliche Chlormagnesium ausgelöst, dagegen die relativ schwerlöslichen Kieserit ($MgSO_4 + H_2O$) und Chlorkalium (KCl) zurückgelassen haben. Dies stimmt keineswegs mit der Beschreibung, dass Brocken von Steinsalz und Kieserit sowie Salzton vorliegen. Man müsste vielmehr umgewandelte Schichten (nicht Brocken) an der Berührungsfläche des Wassers erwarten, die gangförmig verbreitet wären Rissen entlang, durch welche das Wasser hinfloss. Ausserdem müsste man annehmen, dass sobald das leichtlösliche Chlormagnesium entfernt war, das Wasser ausgeblieben wäre, denn sonst wäre das Chlornatrium und das Chlorkalium ebenfalls ausgewaschen sein. Bei längerer Berührung mit Wasser wäre Kainit entstanden. Das brockenförmige Vorkommen der Salze (und des Salztons) in einer Hauptmasse von Carnallit scheint schwer damit vereinbar. Ebenso wenig scheint die bisweilen auftretende stark geschlängelte bandenförmige Lagerung des Kieserits und des Steinsalzes in einem Hauptbett von Carnallit mit dieser Auslaugungstheorie vereinbar zu sein.

Wohl aus diesen Gründen bezeichnet EVERDING die unregelmässigen Hartsalzablagerungen als von einem Sturzfluss zusam-

mengeschwemmte Konglomerate und die in Bändern gelagerten als durch eine ganz enorme Gebirgsfaltung verursacht.¹

Betreffs der unregelmässigen Lagerung der Salze in Brocken äussert sich LACHMANN folgendermassen:² »Der Verfasser hat aus allgemein-geologischen Gründen, aus dem Fehlen einer Erosionsbasis, aus der Beschaffenheit der 'Gerölle', der Zusammensetzung der Lager und dem Mengenverhältnis des angeblichen 'Mutterlagers' zu seiner 'Descendenz', ferner aus dem Fehlen von eigentlichen Steinsalzkonglomeraten zu erweisen sich bemüht, dass diese Auffassung nicht stichhaltig ist. Er hält sämtliche Kalilager für bodenständig.» Dieser Schluss scheint, wie unten näher gezeigt wird, vom physikalisch-chemischen Standpunkte wohlberechtigt. Dagegen scheint die Vermutung, dass die brockenartige Ausscheidung »unter dem Einfluss der Windbewegung des Wassers« stattgefunden habe, wonach die Massen von Gemenegcarnallit den Sandbänken in der Nordsee entsprächen, wenig wahrscheinlich. Nach dieser Auffassung müssten wohl nicht Brocken sondern lange der damaligen Küste parallel liegende Stränge oder Wülste entstanden sein.

Betreffs der eigentümlichen stark gefalteten bandförmigen Schichtung der Kieserit- und bisweilen der Steinsalzlagen äussert sich EVERDING (l. c. S. 49) mit Hinsicht auf nebenstehenden von ihm entlehnten Figuren (Fig. 1 und 2). »Die Beteiligung der drei Salzarten an dieser Undulierung des Lagers ist ... eine verschiedene. Die stärkeren Steinsalzbänke bleiben meist ebenflächig als Rückgrat des Gefüges erhalten. Zwischen ihnen sind die feineren Steinsalzlagen und namentlich die Kieseritlagen zu den mannigfältigsten und voneinander ganz unabhängigen Wellenlinien verschlungen, meist ohne dass sie dabei ihren Zusammenhalt verlören. Der Carnallit dagegen spielt mehr die Rolle einer plastischen Grundmasse, die, nach allen Seiten ausweichend, die Zwischenräume zwischen den Wellenlagen der beiden anderen Salze, sowie das Innere der Faltenschlingen ausfüllt. So unabhängig wie die einzelnen Wellenlinien voneinander sind, so unabhängig verhalten sich bezüglich dieser Faltenbildung auch die einzelnen Teile der Lagerstätte zu einander.»

¹ H. EVERDING: Deutschlands Kalibergbau, Festschrift zum 10. allg. deutschen Bergmannstage zu Eisenach 1, 25—133 (speziell S. 50, 83 und 88) Berlin 1907.

² RICHARD LACHMANN: Monatshefte f. d. naturw. Unterricht 4, 228, 1911.

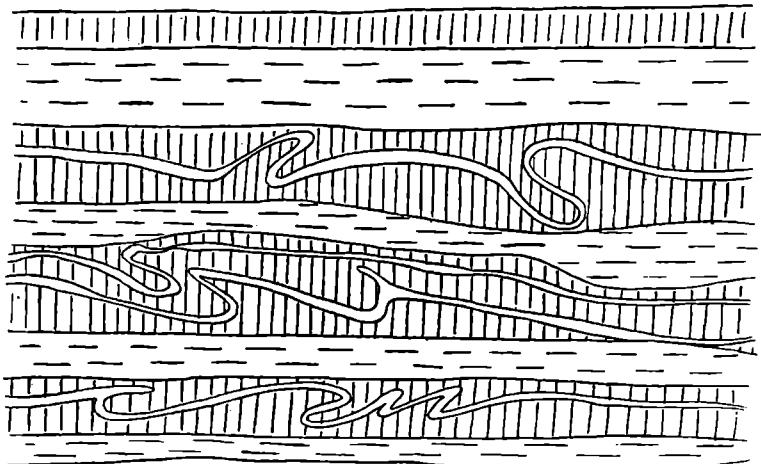
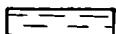
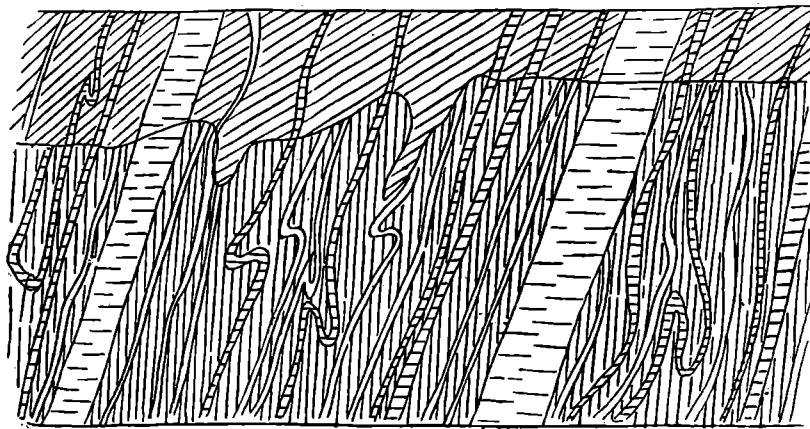


Fig. 1. Schnitt durch das Kalimutterlager des Berlepsch-Schachtes bei Stassfurt. Maasstab 1: 25.



Steinsalz.



Carnallit.



Kainit.



Kieserit.

Fig. 2. Fussgrenze eines Kainithutes über dem Kalimutterlager des Stassfurt-Egeln Sattels. Maasstab 1: 25.

Es ist gerade diese ausserordentliche Unabhängigkeit der einzelnen Wellenlinien von einander, welche es unmöglich macht, daran zu glauben, dass hier die »Wirkungen einer grossartigen Gebirgsfaltung» vorliegen. In der Gesamtblagerung von 30 — 40 m. Dicke liegen teils Carnallit und Salzbänke von etwa

10 bis 25 cm Mächtigkeit »meist ebenflächig«, teils in dem Carnallit geschlängelte »Arabesken« von hauptsächlich Kieserit, bisweilen auch Steinsalz, von nur 2 bis 5 cm Dicke, die in der abenteuerlichsten Weise geschlängelt, häufig mit Ausstülpungen verbunden sind (vgl. Fig. 1). Die Windung dieser Arabesken ist in Entfernnungen von nur einigen Centimetern ganz verschieden gerichtet. Ausserdem besitzen die Arabesken keine scharfe Ecken, sondern die Stellen der grössten Krümmung sind ganz weich abgerundet und ihre Dicke ist da im allgemeinen vergrössert. Die Kräfte welche diese eigentümliche Schlängelung hervorgerufen haben, sind offenbahr sehr lokal und zur selben Carnallitschicht begrenzt. Von einer Gebirgsfaltung kann es da wohl kaum die Rede sein. Dazu kommt noch, dass Steinsalz und Sylvian nach RINNE's Untersuchungen plastisch sind, dagegen Carnallit nicht.¹ Die von RINNE verbogenen Carnallitstücke zerbrachen wohl nicht, sondern hingen zusammen, aber nicht zu folge plastischer Umformung sondern durch eine innige Verzahnung. Trotzdem spricht RINNE davon, dass Carnallit bisweilen in die durch Zerreissung von Steinsalzlagen entstandenen Löcher eingepresst ist. Wegen der grösseren Plastizität des Steinsalzes sollte man erwarten, dass dieses Salz in die Löcher des zerrissenen Carnallits und nicht umgekehrt Carnallit in die Löcher des Steinsalzes eingepresst wäre. Gerade dieselbe Erscheinung hat auch EVERDING (vgl. oben S. 5) folgerichtig dazu veranlasst, anzunehmen, dass Carnallit mehr plastisch ist als Steinsalz (und Kieserit), was aber durch RINNE's Versuchen als unrichtig erwiesen ist.

RINNE findet ebenfalls, dass die verbogenen, durch Verzahnung als »halbplastisch« erscheinenden Carnallitstücke zertrümmert und deshalb undurchsichtig sind, wogegen die in Salzdetfurth gefundenen Camallitstücke aus »groben, wasserklaren Körnern« bestehen. Er glaubt diesen Unterschied mit seinen Versuchen durch lange Einwirkung und erhöhte Temperatur erklären zu können, was jedenfalls als eine durch Versuchen nicht gesetzte Hypothese erscheint. Wegen der malenden Beschreibung führe ich dieselbe im folgenden wörtlich an. »Trotz dieser ausserordentlichen Beanspruchung der Steinsalz-Schicht (Zusammenschub im Verhältnis 6:1) ist der innere Zusammenhalt der Schicht, nach dem allgemeinen Anblick zu urteilen, meist

¹ RINNE: Festschrift, A. v. KOENEN gewidmet. Stuttgart 1907, S. 370 und 375.

ganz gut bewahrt, andernorts ist es zu kleinen 'Gewirren' und dann auch Zerreissungen gekommen. Bei aufmerksamer Be trachtung tritt letzteres auch auf den Bildern Fig. 1, 2 und 3 Taf. 11 heraus. Fast nur aus Stücken besteht die Faltung, die in Fig. 4 vorgeführt wird. In die Löcher der örtlich zerrissenen Steinsalzlage ist der Carnallit hineingepresst.»

»Man erkennt deutlich, dass die Biegung (des Carnallits) unter innerer Zertrümmerung nach Abscherflächen vor sich gegangen ist. Die Verzahnung der Teile ist aber so innig, dass ein Zerfall nicht stattfand» (S. 375).

»Der Gegensatz zwischen dem unter den in Rede stehenden Versuchsbedingungen vollkommen plastischen Steinsalz bzw. Sylvin und dem gewissermassen halb plastisehen Carnallit bzw. Kalkspat ist kein scharfer. Es ist wohl nicht zu verkennen, dass eine Verlangsamung der Druckeinwirkung und dazu eine Erhöhung der Temperatur, also Herabminderung der Grösse innerer Reibung, eine Annäherung der Umformung auch des Carnallits an plastische Verhältnisse zuwege bringen wird. In der Hinsicht ist der Carnallit von Interesse, der die geschilderte Steinsalzlage im Salzdethfurter Vorkommen umschliesst. Ohne Zweifel ist er wie das so intensiv gefaltete Steinsalz, das er einschliesst, starkem Gebirgsdruck ausgesetzt gewesen. Der Langsamkeit der geologischen Einwirkung und wahrscheinlich einer gegenüber der jetzt an Ort und Stelle herrschenden erhöhten Temperatur ist es wohl zuzuschreiben, dass der Carnallit in schönen, groben wasserklaren Körnern erscheint. Zwillingslamellen fehlen dem in Rede stehenden Carnallit nicht; sie sind wohl sicher dem Gebirgsdruck zuzuschreiben.»

Wie aus dem Gesagten erhellt, stösst man auf starke Widersprüche, falls man annehmen will, dass grosse Gebirgsfaltungen bei der Entstehung des Hartsalzes wirksam gewesen sind. Ebenso ist die Annahme einer plötzlichen Ausspülung von $MgCl_2$ durch Wasser äusserst unwahrscheinlich, wie MEYERHOFFER¹ hervorgehoben hat. Wo die Hartsalzschichten durch Aufrichtung oder Denudation von den schützenden wasser dichten Tonschichten befreit worden sind, so dass Tageswässer hinzugekommen sind, hat sich Kainit daraus gebildet, was auch geschehen muss, wenn die Einwirkung lange genug dauert. »Es ist aber schwer», sagt MEYERHOFFER »einzusehen, weshalb die

¹ W. MEYERHOFFER: Zeitschrift f. anorg. Chemie 34, 162, 1903.

Tageswässer mit den oberen Salzschichten hätten längere Zeit in Berührung bleiben sollen, als mit den unteren. Man sollte das Gegenteil als wahrscheinlicher erachten.» (Vgl. dazu Fig. 2.)

Einen noch wichtigeren Einwand sieht MEYERHOFFER in dem von KUBIERSCHKY beschriebenen Vorkommen von Langbeinit unter Hartsalz in Wilhelmshall. »Wäre nun das Hartsalz aus Kieserit und Carnallit gebildet, so müsste ursprünglich Carnallit neben Langbeinit vorgekommen haben, was bei keiner Temperatur möglich ist. Man wird billig fragen können, wie es kommt, dass die eingedrungenen Wässer, die also oben das Hartsalz gebildet haben, auch nicht weiter nach unten gedrungen sind. Dass dies jedoch nicht der Fall war, zeigen die unten liegenden anhydrischen Salze wie Langbeinit und Vanthoffit. Viel näher liegend erscheint hier die Wirkung von hohen Temperaturen. Oberhalb 85° , bei Anwesenheit von NaCl oberhalb 83° , existiert Langbeinit neben KCl und Kieserit.»

Wie aus diesem ersichtlich, kommt man, wie man auch auszuweichen versucht, immer wieder zu der Annahme, dass eine hohe Temperatur die Hartsalzbildung bewirkt hat. Auch RINNE kommt zu ähnlichen Schlüssen. An der anderen Seite ist es, wie PRECHT und EVERDING hervorgehoben haben (vgl. EVERDING l. c. S. 83), sehr schwer anzunehmen, dass die Salze bei einer so hohen Temperatur ausgeschieden sind. Etwa 25° C. wird als die wahrscheinlichste Temperatur angesehen. Es gibt da kein anderer einfacher Ausweg, diese beiden Forderungen zu befriedigen, als durch die Annahme, dass die Salze bei etwa 25° C. abgesetzt sind, später aber durch starken überschichteten Lagern auf eine grosse Tiefe niedergepresst sind, wo die Temperatur, zufolge der geothermischen Tiefenstufe, auf etwa 75° bis 90° C. gestiegen ist. Wie die Messungen im Bohrloch von Sperenberg zeigen, ist die geothermische Tiefenstufe in ähnlichen Schichten etwa 32 m, also von mittlerer Grösse. Eine bedeckende Schicht von zwischen 2 und 3 Kilometern genügte folglich um die nötige Temperatur (nach genügend langer Zeit) hervorzurufen. (Wenn man annimmt, dass die Erdkruste damals etwas dünner als jetzt war, genügte sogar eine etwas geringere Schichtdicke.) Die ursprünglich abgesetzten Salze bestanden wahrscheinlich aus Kainit und Kieserit, Kochsalz und Carnallit. Sobald die Temperatur über 72 stieg, zersetzte sich der Kainit ($MgSO_4 \cdot KCl + 3 H_2O$) in Kieserit ($MgSO_4 + H_2O$) und KCl, sowie Wasser ($2 H_2O$). Die Masse wurde dabei zum Teil flüssig

und eine bedeutende Volumenzunahme fand statt. Ein Teil des ausgeschiedenen KCl setzte sich mit MgCl₂ aus der Lösung zu Carnallit um. Ebenso blieben die zwischen den Kainitschichten gelagerten Steinsalzbänke unbehellt. (Die abwechselnde Schichtung von Steinsalz und Kainit kann als analog mit dem abwechselnden Auftreten von Steinsalz und Anhydrit in der tieferen Anhydritregion angesehen werden.)

Wir betrachten zuerst den Fall, dass wenig Kainit und sehr viel Carnallit in den betrachteten Schichten abgesetzt war.

Die partielle Verflüssigung und Ausdehnung ging natürlicherweise ausserordentlich langsam vor sich. Die Flüssigkeit, die nach VAN'T HOFF aus 1000 H₂O + 5 MgSO₄ + 12 K₂Cl₂ + 86,5 MgCl₂ + 2 Na₂Cl₂ bei 83° besteht, breitete sich in die durch die Volumenzunahme entstandenen Risse aus, die hauptsächlich parallel zu den alten Schichtungsrichtungen verliefen. Bisweilen konnten zufolge von Kristallbildungen Sprünge auch in anderer Richtung entstehen, in welche die Lösung hineindrang. Durch diese Risse entwichen allmählich Wasserdämpfe, es krystallisierte etwas oberhalb 72° C. Carnallit neben kleinen Mengen von Kieserit aus, während bei höheren Temperaturen KCl und Kieserit ausschieden. Chlormagnesium blieb in der Lösung. Stieg die Temperatur bis 83°, schieden sich zuletzt neben Kieserit und Chlor-kalium auch Langbeinit und ausserdem Kochsalz aus. Zu einer nennenswerten Ausscheidung von Langbeinit scheint es selten gekommen zu sein. Der letzte Rest in den Rissen war Kieserit und KCl neben NaCl. Infolge von kapillären Kräften hatten, während der langen Zeit die scharfen Ecken in den Rissen sich abgelöst und die hohen Winkel ausgefüllt, so dass abgerundete Bandenformen entstanden. Die langsame Abdunstung des Wassers, d. h. die Austrocknung und danach folgende Kontraktion der Schichten verlief wahrscheinlich so, dass der Teil der stark zähflüssigen Masse, welcher in vertikalen Sprüngen eingedrungen war, in höher liegenden Schichten durch Verdunstung erstarrte, wonach eine langsame Diffusion des Wassers von der unten zurückgebliebenen Lösung durch die oberen erstarrten Teile stattfand. In der langen, wohl Millionen von Jahren umfassenden, Zeit konnte die Entwässerung vollkommen werden. Auf diese Weise entstanden die Kieserit- und Kochsalz-Arabesken.

¹ Vgl. VAN'T HOFF: Sitzungsber. d. Berl. Akad. 1904, 585 und 666.

Durch diese Entwässerung war das Volumen stark zurückgegangen,¹ so dass die höher liegenden Schichten heruntersanken, wobei grössere Risse in ihnen entstanden, so dass der Prozess mit beschleunigter Geschwindigkeit fortgehen konnte. Ein Teil der zufolge der Verflüssigung entstandenen Lösung ging zuletzt in den bedeckenden Salzton hinein, welcher deshalb sehr reich an Chlormagnesium (4,5 Proz.) und Chlorkalium (0,8 Proz.) ist. Der Gehalt an NaCl ist 2 Proz. Die Konzentrationen der Bestandteile $MgCl_2$, KCl und NaCl in der gesättigten Lösung verhalten sich wie 4,5 : 1,00 : 0,13, d. h. wenn die drei Salze in proportionaler Menge in den Salzton eingetreten wären, würde man bei einer Menge von 0,8 Proz. KCl darin etwa 3,7 Proz. $MgCl_2$, dagegen nur 0,105 Proz. Chlornatrium erwartet haben. Der beobachtete geringe Überschuss von 0,9 Proz. an $MgCl_2$ gegenüber KCl dürfte mit der Neigung konzentrierter $MgCl_2$ -Lösungen, mit anderen Salzen, wie KCl und NaCl, Komplexe zu bilden, zusammenhängen, welcher eine relativ langsame Diffusion dieses Salzes im Vergleich mit KCl bedingt. Dabei wird die Diffusion der K- oder Na-Ionen fast nicht beeinträchtigt, da die Komplexe diese Ionen in etwa derselben Menge wie die Salze KCl und NaCl selbst abspalten. Der relativ hohe Gehalt an NaCl ist dagegen dadurch verständlich, dass die Diffusion durch den

¹ Aus den spezifischen Gewichten, die von E. ERDMANN (Deutschlands Kalibergbau 2, 6—25) gegeben sind, lassen sich folgende Molekularvolumina berechnen:

Körper	Formel	Mol. Gew.	Sp. Gew.	Mol. Vol.
Kainit	$MgSO_4 \cdot KCl \cdot 3 H_2O$	249,1	2,13	116,9
Kieserit	$MgSO_4 \cdot H_2O$	138,4	2,543	54,4
Sylvin	KCl	75,7	1,989	37,6
Reichardtit . . .	$MgSO_4 \cdot 7 H_2O$	246,5	1,68	146,7

Daraus lässt sich berechnen, dass beim Zerfall von Kainit in Kieserit, Sylvin und Wasser das Molekularvolumen um 1,1 Prozent zunimmt. VAN'T HOFF hat eine »sehr bedeutende Volumenzunahme« bei der Umwandlung des Kainits wahrgenommen. Dieselbe röhrt vielleicht auch (besonders in der Natur) von der Umwandlung von Bischoffit und KCl in Carnallit her, wobei das Volumen um 5 Prozent zunimmt. Bei der Verdunstung des Wassers zieht sich das Volumen um 30,5 Prozent zusammen. Bei der Umbildung von Reichardtit in Kieserit und Wasser über 32° ist die Ausdehnung fast 11 Prozent und die nachfolgende Kontraktion bei der Verdunstung 62 Prozent. Entsprechende Zahlen für Gips (über 25° C.) sind 12 bzw. 24 Prozent.

Salzton gegen eine über demselben stehende Lösung stattfand, welche zufolge Berührung mit den noch höher liegenden jüngeren Steinsalzschichten recht bedeutende Mengen von Chlornatrium enthielt.

Die Bemerkung von EVERDING, dass bei der Eintrocknung des Meerwassers Carnallit vor dem Kieserit sich ausbilden müsste, ist nicht mit den Untersuchungen von VAN'T HOFF¹ vereinbar. Nachdem erst Anhydrit, sogenannter älterer Anhydrit, und danach Kochsalz in der Anhydritregion sich abgesetzt hatte, trat in der Polyhalitrengion eine Ausscheidung von Kieserit auf, welcher sich bei Anwesenheit von Kalksalzen (Anhydrit und Syngenit) in Polyhalit zum grössten Teil umwandelt. Bei noch weiterer Einengung kommt ein Gebiet, wo Kainit neben Magnesiumsulphat sich ausscheidet — Carnallitbildung ist da unmöglich. Auch wenn das Magnesiumsulphat erst in Form von Hexahydrat und nich von Kieserit sich abgesetzt hat, so ist bei der nachfolgenden Senkung Dehydratation mit Bildung von Kieserit eingetreten. Wenn zufolge irgend eines Umstandes die Entstehung von Kainit ausgeschlossen war, z. B. durch sehr grossen $MgCl_2$ -Gehalt des Meerwassers wie EVERDING annimmt (l. c. S. 46), so fand jedenfalls Magnesiumsulphatausscheidung vor der Bildung des Carnallits Platz, was in genauer Übereinstimmung mit den tatsächlichen Verhältnissen steht, wie EVERDING sie darstellt.

Wir gehen jetzt zu dem Fall der massigen Ausscheidung von Salzbrocken über.

In den meisten Fällen bestehen die Hartsalzschichten aus einer Hauptmasse von Carnallit, in welche Brocken von Salzton, Kieserit und Steinsalz eingebettet sind. Die Schichtung tritt zurück (vgl. EVERDING l. c. S. 93). Ähnliche Fälle werden verständlich, wenn man die Anwesenheit von grossen Mengen Kainit, dagegen relativ wenig Carnallit in den ursprünglichen Ablagerungen annimmt. Die Volumenzunahme war dann sehr gross und die Verflüssigung sehr ausgiebig, so dass nicht nur relativ schmale Risse, sondern der Hauptteil der Ablagerung mit Flüssigkeit erfüllt wurde. Die in kleinerer Menge vorkommenden Salze krystallisierten dabei in Konkretionen aus und die wegen der starken Volumenzunahme in dem oberliegenden Salzton ent-

¹ VAN'T HOFF: Sitzungsberichte der Berliner Akademie 1903, S. 1009, speziell Fig. 3.

standenen Sprünge gestatteten grossen Tonstücken in den unterliegenden Brei hineinzufallen.

Bei dem während der Austrocknung vorsich gegangenen Niedersinken der oberliegenden Schichten geschah dies natürlicherweise nicht gleichmässig sondern in Wulstenform und auf diese Weise wurden auch die Hartsalzlagen zu Wülsten (EVERDING l. c. S. 93) zusammengepresst und darin liegende Salzbänke zerbrochen und zusammengeschoben, wovon EVERDING mehrere schöne Beispiele gibt. (Taf. 3, Taf. 5 u. s. w.) Dabei wurden unterliegende Steinsalzschichten häufig ungleichmässig erodiert oder wegen der grossen Plastizität an ihrer Oberfläche in »Gewirren« ausgezogen (in einer Weise wovon wir unten näher sprechen werden). Diese Bildungen werden von EVERDING als Konglomeratbildungen zufolge enormer Meereseinbrüche erklärt, was wohl als sehr gezwungen angesehen werden muss.

Seitdem der Kainit in Hartsalz und Carnallit umgewandelt war und das Wasser, vielleicht auch ein Teil der Magnesiumsalze und in geringerem Grad der Kaliumsalze, durch Diffusion entfernt war, konnte nach dem durch Denudation erfolgenden Wiederaufstauchen der Salzlagerstätten in höheren Erdlagern keine Rückbildung der ursprünglichen Ablagerungen stattfinden. Nur wo Tageswasser, z. B. in den sogenannten Hutbildungen (vgl. Fig. 2), in die alten Schichten eingetreten ist, konnte Kainit wieder entstehen. Die mit der bedeutenden Wasseraufnahme verbundene Volumenvergrösserung wird viel dazu beigetragen haben die Undichtigkeiten zu verschliessen und den Rückbildungsvorgang zu begrenzen.

Wie aus dem obenstehenden ersichtlich, sind die eigentümlichen Bildungen, welche die Salzablagerungen kennzeichnen, von inneren Kräften hervorgerufen, die wiederum von Temperaturwechseln abhängen, welche hauptsächlich die ursprünglichen Kainitschichten betrafen. Die umliegenden Schichten wurden davon nur in geringem Masse betroffen, und zwar hauptsächlich da, wo Gips oder Reichardtit die Hauptmasse ausmachte und wo infolgedessen grössere Verbiegungen oder Einstürze nach der Wasserabgabe verursacht wurden. Die Annahme von ungewöhnlich heftigen Gebirgsfaltungen oder von katastrophenartigen Wassereinbrüchen, die ja an und für sich unwahrscheinlich sind, ist ganz überflüssig. Ebenso ist die Annahme einer ausserordentlich hohen Temperatur, welche von

geologischer Seite als unwahrscheinlich bezeichnet wird, bei der Ausscheidung der Meeressalze als unnütz erwiesen.

3. Der Salzauftrieb.

Wir kommen jetzt zu der anderen Eigentümlichkeit der Salzbetten herüber, nämlich ihr Auftreten in Hügeln oder Horsten, welche die obenliegenden Gebirgsmassen durchbrochen haben. LACHMANN hat dieses Verhalten sehr eingehend geschildert,¹ weshalb ich auf seine Monographie hinweise.

Am einfachsten liegen wohl die Verhältnisse bei den von HARRIS² beschriebenen Salzhügeln in Louisiana an der Küste des Golfes von Mexico. Sie heben sich ziemlich unvermittelt aus der ganz horizontalen Bodenfläche. HARRIS hat nicht die Höhe dieser Hügel näher angegeben; einer Kartenskizze über Lick Hill in N. Louisiana, wo PRICE's Saline liegt, entnehme ich, dass dieser Hügel etwa 30 Meter (96 Fuss) über die Umgebung hinaufschiesst (l. c. S. 14). Er gibt an, dass bei DRAKE's Saline Kochsalz in einer Tiefe von 270 m (900 Fuss) liegt und Gips in einer Tiefe von etwa 700 m. Die Profilen, welche bei diesen Salinen in der Umgebung der genannten Hügel, »z. B. bei Spindle Top, Anse La Butte, Belle Isle und vielen anderen Lokalitäten aufgenommen wurden, sprechen deutlich für ausserordentlich grosse hebende Kräfte». In den umliegenden Salzquellen tritt Salzwasser mit Petroleum gemischt stets zur Oberfläche und brennbare Gase bubbeln heraus. Die Temperatur des Wassers beträgt 130—132° F. (55° C.) was eine recht grosse Tiefe (vielleicht 1000 m) der Herkunftsstelle andeutet. HARRIS nimmt an, dass das petroleumführende Wasser Verwerfungsflächen entlang hinaufgepresst wird und dabei mit der Oberfläche des Salzstockes in Berührung kommt, welchem er weiter hinauf in die Höhe folgt. Der Salzstock schwimmt gewissermassen in den umgebenden Lagern, auf welche das Salzwasser als Schmiermittel wirkt. Das spezifische Gewicht dieser Lager wird von HARRIS zu 2,4 geschätzt; sie bestehen aus quartärem Lehm und Sand.

Das spezifische Gewicht von Steinsalz ist 2,16. Offenbar muss der Salzstock unter dem Drucke eines starken Auftriebes

¹ R. LACHMANN: Der Salzauftrieb, Halle a. S. 1911. S.-A. d. Ztschr. »Kali».

² HARRIS: Economic geology, 4, 14, 1909.

stehen, welchem er allmäglich folgen kann, weil er von Wasser und nassem weichen Ton an allen Seiten umgeben ist. Damit der Salzstock 100 Fuss über der Oberfläche hinauffragt, muss das Gewicht einer Salzsäule von 1 m² Querschnitt gleich sein dem Gewicht einer gleich tiefen Säule vom selben Querschnitt der umgebenden Schichten. Diese sei x, also die Höhe des Salzstockes (100 + x) Fuss. Es gilt dann:

$$2,4 \cdot x = 2,16 \cdot (100 + x) \therefore x = 900 \text{ Fuss}$$

d. h. der Salzstock muss, damit Gleichgewicht besteht, bis zu 900 Fuss Tiefe hinuntergehen, oder gerade die Tiefe, in welcher Steinsalz bei DRAKE's Saline gefunden wurde.

Natürlicherweise ist kein Gleichgewicht erreicht, sondern der Salzstock schiesst immer weiter langsam in die Höhe und wird oben durch Tageswasser allmäglich abgetragen. Man kann hier die Lehre von der Isostasie anwenden. Die berechnete Tiefe des Salzstockes wird durch seine Anschwellung nach unten vermindert.

Beim Hinaufdringen des Salzstockes werden die umgebenden Tonschichten genau wie von einem Gletscher geschliffen, wobei das hinaufströmende Salzwasser ganz denselben Dienst tut, wie das unter dem Gletscher hinwegfliessende Schmelzwasser. Härtere Gegenstände, wie Steine die im Salzton eingebettet liegen, halten die Bewegung des Salzstockes zurück. Zufolge des enormen dabei wirkenden Druckes verhalten sich die Salzschichten an der angegriffenen Oberfläche des Salzstockes, als ob sie plastisch wären; sie verschieben sich und dadurch entsteht diese sonderbare Kleinfältelung, welche nicht nur der Oberfläche entlang sondern auch senkrecht dazu zu Stande kommt. Dabei kann es vorkommen, dass Teile von der Umgebung, wie Stücke von Salzton, von Sandstein, fossiles Holz u. s. w. von den Salzschichten mitgeschleppt und allmäglich darin hineingelagert werden. Durch die mächtige Auswalzung der Oberflächenschichten des Salzstockes werden sie dabei häufig zerrissen und man kann dann oft erkennen, welche Stücke zusammengehört haben jetzt aber von Salz zwischengelagert sind (vgl. Taf. V. Fig. 29 in POŠEPNY's unten zitierte Arbeit). Offenbar geschieht diese Bewegung sehr langsam, noch langsamer als diejenige der Gletscher (weil das Eis viel mehr plastisch ist als Salz); Hr LACHMANN hat mir brieflich mitgeteilt, dass er die Bewegung zu etwa 1 m in 10000 bis 50000 Jahren schätzt, was mir nach der oben gegebenen Deutung als sehr zutreffend erscheint.

Diese Auffassung der Erscheinungen stimmt auffallend wohl mit den zahlreichen Beschreibungen von ähnlichen Vorkommnissen von Salzstöcken. Eine Bedingung ist natürlicherweise, dass die über dem Salz liegenden Schichten nicht all zu stark zusammenhängen und außerdem wasserführend sind. In Deutschland kommen diese Gebilde — LACHMANN nennt sie ganz bezeichnend »Ekzeme» — in Form von Horsten in Hannover und dem übrigen Flachland vor, wo sie von nicht all zu tiefen aber lockeren und wasserführenden Schichten bedeckt sind (LACHMANN l. c. S. 125). Weiter hinein treten sie als langgestreckte Satteln auf, bei welchen mächtige Gebirgsfaltungslinien die bedeckende »spröde Decke mesozoischer Schichten» zerbrochen haben und eine Hebung eingeleitet haben. »Die auffälligste und zugleich längste dieser Hebungslinien in der Magdeburger-Halberstädter Mulde ist der sogenannte Stassfurt-Egelner Rogensteinssattel.»¹ Nachdem einmal die erste Hebung eingetreten war, hat der Auftrieb des leichten Salzes (die meisten Abraumsalze sind leichter als Steinsalz) weiter zur Hebung beigetragen. Diese Wirkung ist natürlicherweise nicht so auffällig wie bei den isolierten Salzstöcken. Von den Horsten im Tiefland sagt BEYSCHLAG (l. c. S. 19), »dass es keineswegs horizontale Tafeln, sondern vielmehr stark gepresste, gefaltete und von Verwerfungen durchzogene Pfeiler sind, die das Zechsteinsalz beherbergen.» »Die Horste bestehen aus Zechstein- und Triasschichten. Sie durchstoßen die überlagenden Schichten von etwas Jura, hauptsächlich Kreide, Tertiär und Quartär.« Die Umgrenzung der »Horste erfolgt, soweit die Bohrungen erkennen lassen, durch meist steil einfallende Verwerfungen, auf denen, z. B. in der Gegend von Wietze bei Celle, das Erdöl aufsteigt (S. 18).

Noch viel typischer treten die Salzstöcke in Siebenbürgen hervor. POŠEPNY hat sie sehr eingehend beschrieben² und eine Zeichnung davon gegeben, die von LACHMANN etwas weiter ausgeführt und reproduziert ist (l. c. S. 19). »Sie kommen in der Regel als konkordante Schichteneinlagerungen vor, aber an den Stellen, wo das Salz mächtiger wird, insbesondere im Tiefsten der Absatzmulden, bilden sich stockförmige und im Grundriss elliptische Aufreibungen aus dem Salzlager heraus, welche auf

¹ F. BEYSCHLAG: Deutsche Kalibergbau, Festschrift z. 10 allg. deutsch. Bergmannstage zu Eisenach 1, S. 9. (Berlin 1907.)

² F. POSEPNY: Jahrb. d. k. k. geol. Reichsanstalt, 17, 475, 1867, und 27, 123, 1871.

eine ganz eigentümliche Weise die hangenden Schichten durchsetzen. Die Begrenzungsfäche ist eine ebene, zuweilen spiegelige Rutschfläche» (vgl. die Figur 3).

Ich gebe unten einige Stellen von POŠEPNY (l. c. B. 17) wieder, welche charakteristisch sind. S. 418 sagt er: »Während nämlich die Salzschichten innerhalb der mehrere hundert Quadratklafter grossen Kammerwandflächen ganz regelmässig niedersetzen, ist auf gewissen Stellen diese Schichtung ganz verwischt, und es finden sich sodann häufig grössere und kleinere vollkommen scharfkantige Bruchstücke von Salzthon und Sandstein mitten im Salze. Dadurch entsteht eine charakteristische Breccie die man hier (Parajd Ferdinandi-Grube) speziell unter dem Namen 'Unreines Salz' begreift. Die scharfen Ecken der Bruchstücke eines weichen plastischen Thones lassen eine Erklärung

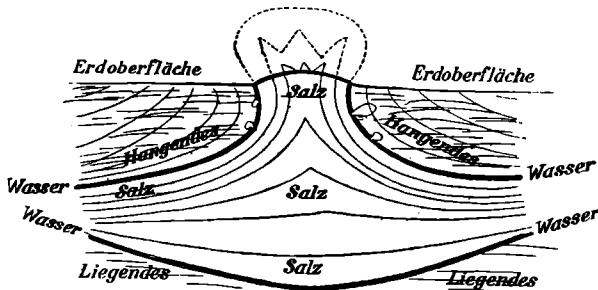


Fig. 3. Typus eines Siebenbürgischen Salzstocks, hauptsächl. nach POŠEPNY.

ihrer Entstehung durch Auslaugungen, ähnlich dem Haselgebirge der alpinen Salinen nicht zu. Beobachtet man aber bei einem günstigen Durchschnitt die Zeichnung an den Grubenwänden und fasst hierbei die Contouren der Thonfragmente besonders ins Auge, so findet man dass sie vollständig zu einander passen. Würde man das sie trennende Medium, dass Salz, durch Auflösen beseitigen, so könnte man die hierdurch isolierten Stücke zu einem ursprünglich Ganzen zusammensetzen, und es ergäbe sich sodann eine ursprünglich regelmässige Einlagerung zwischen den Salzschichten. Diese Erscheinung lässt sich in kleinem Maasstab in den übrigen siebenbürgischen Salinen beobachten. Ohne mich hier auf dieser Stelle in eine Erklärung von grösserer Tragweite einzulassen, bemerke ich nur, dass an den Stellen, wo diese fremden Einlagerungen auseinandergerissen erscheinen, sicherlich eine grosse Bewegung im Salzkörper vor sich gegangen

ist, welche bei den daraus resultierenden Faltungen an der Falten-Convexität jedenfalls am stärksten wirkte.»

S. 485 sagt Pošepny: »Es (das Konglomerat in Parajd) ist durch die Aufreibung des Salzes mit in die Höhe getrieben worden.»

Von den Salzgruben bei Déesakna heisst es (l. c. S. 488): »Diese rings um den Salzstock ausbeissenden und von seinem Centrum abfallenden Tuffbänke zeigen, dass sich der Salzstock in Form einer flachen Kuppe über die Thalsole erhoben hat.»

In Thorda-akna liegen einige Salzschichten ungestört, andere Schichten sind gehoben. »Die Zone der aufgerichteten Schichten begleitet den Salzstock bis auf eine gewisse Distanz, bis plötzlich, wie durch einen Bruch oder eine tiefe Faltung getrennt, die Herrschaft der ungestörten Schichten beginnt.»

»Die Nähe dieser Dislocation ist hier außerdem durch die Exhalationen der brennbaren Gase, also der Kohlenwasserstoffgase bezeichnet, an anderen Orten gesellen sich auch flüssige und feste Kohlenwasserstoffe, Petroleum und Asphalt hinzu.»

»Es offenbart sich also ein Aufbruch des Salinenterrains, d. h. eine Störung und ein Durchbruch der Hangendschichten und zwar durch die Salze des Salinenterrains selbst hervorgebracht. Die hier constatirte Thatssache, dass das Salz Ursache von Dislocationen ist, gewinnt an Tragweite, wenn man berücksichtigt, dass die zahlreichen Salzquellen Central-Siebenbürgens die Existenz von verdeckten Salz- und Gyps-massen bedingen.»

Pošepny gibt auch eine Zeichnung von der charakteristischen Fältelung der Salzschichten an ihrer Grenze gegen das Hangende in der Ignatzigrube zu Vizakna (B. 21, Tafel V, Fig. 27), welche ich hier als sehr charakteristisch reproduziere (Fig. 4). Wie die oben gegebene Erklärung verlangt, liegen die Achsen, welche die Punkten stärkster Verschiebung mit einander verbinden, nahezu zu einander parallel nämlich in der Bewegungsrichtung des Salzstocks relativ zum Hangenden. Eine kleine Abweichung vom strengen Parallelismus lässt sich durch eine verschiedene Reibung der harten Körper, welche die Salzschichten festgehalten haben, erklären. Pošepny selbst sagt (l. c. 21, 159), dass der Verlauf der Einzelstreifen »trotz aller Windungen und Knickungen ein äusserst paralleler ist.»

Eine Salzgrube, welche eine grosse Rolle bei der Ausbildung der Begriffe betreffs der Schichtung und Form von Salzstöcken gespielt hat, ist der Salzberg von Cardona in Spanien. Diese

Salzlager sind zuerst von DUFRESNOY beschrieben worden. Eine obere Salzmasse ist von Mergelschichten bedeckt, die nach drei Seiten unter einem Vinkel von bis zu 20° abfallen. »Dies kann keine ursprüngliche Ablagerung sein. Die Störung ist nicht durch Auflösung hervorgerufen, sondern durch eine Aufwölbung der ganzen Salzmasse» (LACHMANN l. c. S. 8). Auch die hufeisenförmige Verbiegung der unteren Salzsichten nach allen Richtungen deutet auf eine ähnliche Bildungsweise (Aufdringen des Salzstocks).

E. KAISER¹ beschreibt die Kleinfältelung der oberflächlichen Salzmassen sehr ausführlich. Ich entnehme seiner Beschreibung folgende sehr belehrende Schilderung.

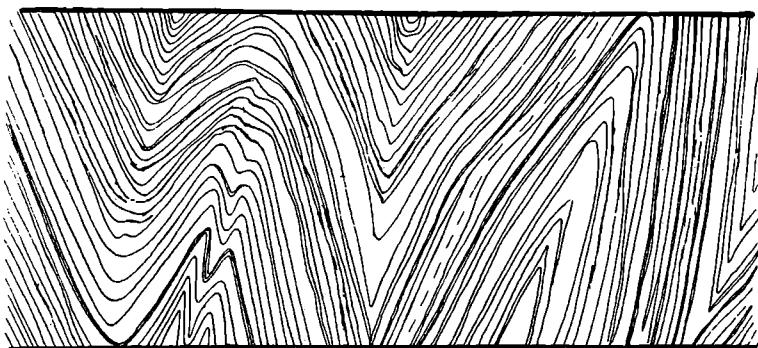


Fig. 4. Partie der 50. Wand der Ignatzigrube zu Vizakna. $\frac{1}{100}$ n. Gr.; nach POSEPNY.

»Diese intensive Fältelung ('Kleinfaltung') geht weder in die hangenden Letten noch in das liegende helle Salz über.» »Es tritt demnach ein scharfer Gegensatz zwischen dem fast horizontal, wenigstens, abgesehen von lokalen Einbrüchen, ruhig gelagerten Deckgebirge gegenüber den stark gefältelten obersten Lagen des Salzes hervor.» »Diese Fältelung findet eine ausgezeichnete Parallel in den Salzlagern des deutschen Zechsteins» Pl. IV, Fig. 2.

»Auch hier tritt häufig unter einem horizontal lagernden oder nur in schwache Falten gelegten Deckgebirge das Salz Lager in grosse oder auch in kleinste mannigfaltig gestaltete Windungen geknetet und gestaucht auf, was auch hier durch die Wechsel-lagerung von verschiedenen Salzen oder von Steinsalz mit tonigen

¹ E. KAISER: Neues Jahrbuch f. Mineralogie u. s. w. 80, 1, 14, 1909.

und lettigen Schichten zum Ausdruck kommt. Am besten zeigen dies die mit den 'Jahresringen' versehenen Steinsalzstücke, an denen die intensivsten 'Quälungerscheinungen' erkennbar sind. Der Hauptgrund für diese verschiedenen Erscheinungen an dem Steinsalze liegt in der grossen Plastizität derselben begründet, worauf die verschiedenen Untersuchungen von A. v. KOENEN, F. RINNE, E. GEINITZ u. A. hingewiesen haben.» — — »Dass diese Fältelungerscheinungen nicht einer allgemeinen tektonischen Ursache zuzuschreiben sind, das geht schon daraus hervor, dass die einzelnen Fältelungen auch nicht einigermassen parallel zueinander verlaufen, sondern kreuz und quer durcheinander gehen.»

»Es ist nicht notwendig zur Erklärung dieser Fältelungen grosse Druckerscheinungen heranzuziehen. Der Druck muss völlig ausreichen, der durch die Auslaugung einzelner geringmächtiger Schichten¹ hervorgerufen wird, wenn dann das Deckgebirge nur gleichmässig nachdrückte, und die Schichten, unter denen durch die Auslaugung ein Hohlraum entstanden ist, zusammenpresste. Die Umwandlung des Anhydrits in Gips kann ebenfalls eine derartige Fältelung herbeigeführt haben, wodurch diese Fältelungen in eine Parallelle zu den Gekrösegipsen kämen. Der Anhydrit tritt nun hier auch nur im wesentlichen in den oberen Teilen des Lagers auf, während die mittleren Teile von reinem Steinsalz ganz frei davon sind. Damit hängt dann auch zusammen, dass die Fältelungen auf die höheren Teile des Lagers beschränkt sind und sich nicht in das klare Salz fortpflanzen, das in seinen mächtigeren, früher noch nicht so stark aufgeschlossenen Bänken horizontal oder wenigstens annähernd horizontal liegt.»

»Damit sind diese Fältelungerscheinungen im grossen und ganzen auf Sackungerscheinungen zurückgeführt, denen das Salz durch die Ausbildung von Fältelungen folgte, während das Hangende wegen seiner viel geringeren Plastizität dadurch zerriissen oder nur schwach beeinflusst wurde. — — Es handelt sich also nicht um eine primäre Lagerungsdiskordanz, sondern um eine Faltungsdiskordanz, aber in dem Sinne, dass hier die Faltung bzw. Fältelung nicht mit allgemeinen tektonischen Ursachen zusammenhängt, sondern auf rein lokale Ursachen zurückgeführt werden kann» (l. c. S. 19—21).

¹ »Es ist nicht unwahrscheinlich, dass den obersten Salzbänken leichter lösliche Salze eingeschaltet waren. DUFRESNOY weist auf Polyhalit hin.»

Alle die genannten Beschreibungen stimmen darin überein, dass die Salzstücke durch die Umgebung hinaufgetrieben sind zufolge einer Kraft, welche in vertikaler Richtung wirkt und infolgedessen von der Schwerkraft bedingt ist. Die Hauptfaltung an der Oberfläche sind ohne Zweifel von der Reibung beim Hinaufstreben des Salzstockes verursacht und entsprechen den Schrammen, welche die Gletscher im unterliegenden Gestein geritzt haben. Während in diesem Fall der Bergart unplastisch war und dadurch scharfe Risse entstanden, herrscht bei dem Salz wegen seiner Plastizität eine ausgeprägte Fluidalstruktur. Diese Hauptfaltung, welche in Vizakna hervortritt, wird bisweilen von einer Fältelung von noch kleineren Dimensionen begleitet, welche, wie KAISER beschreibt, durch ganz lokale Druckschwankungen verursacht ist.

Der Auftrieb des Salzstockes bewirkt, dass seine tieferen Schichten zum aufsteigenden Zentrum nachgepresst werden. Dadurch erhält er, schematisch dargestellt, eine sehr abgeflachte zwiebelförmige Gestalt, wie sie POŠEPNY in seiner Darstellung der Formation der siebenbürgischen Salzlagerstätten gezeichnet hat. Die hangenden Schichten werden in der Umgebung des hinaufstrebenden Salzstockes vertikal ausgerichtet, ja sogar im obersten Teil bisweilen etwas umgebogen. Der ganze Salzstock entspricht einem Öltropfen, der unter einer Glasscheibe, mit einem kleinen runden Loch mitten über dem Tropfen, in Wasser liegt. Die aufreibende Kraft ist in allen beiden Fällen die Schwerkraft. Die zwiebelartige Form wird beim Öltropfen durch kapillare Kräfte, beim Salzstock durch den Widerstand der hangenden Schichten bewirkt.

4. Nachschrift.

Nachdem Obenstehendes geschrieben war, hat D:r LACHMANN mich auf mehrere Umstände aufmerksam gemacht, die ich hier kurz berühren will.

Es ist auffallend, wie ausserordentlich viel grössere Mengen von den schwerlöslichen Bestandteilen des Meeresswassers in den Salzablagerungen aufbewahrt worden sind, als von den leichter löslichen. Dies ist ja an und für sich ganz natürlich, einige Bestandteile wie Bischofit fehlen aber gänzlich, oder fast so, obgleich sie einen sehr bedeutenden Teil der Meeresswassersalze

ausmachen, was besondere Erwägungen nötig macht. Die Verteilung der Salze im Meeresswasser und in den Salzablagerungen zu Stassfurt geht aus folgender kleinen Tabelle von LACHMANN hervor, wobei die Menge des Steinsalzes gleich 100 gesetzt wurde.

	Meeressalz	Stassfurtersalze (ältere)
Steinsalz	100	100
Anhydrit	3,4	20,4
Kieserit	7,2	2,3
Carnallit	14	4,7
Bischofit	23,5	0

Die OCHSENIUS'sche Theorie, dass die Salzablagerungen aus einem flachen Meerbusen ausgeschieden sind, wird jetzt als die einzige der Natur entsprechende angenommen. Um das Fehlen der leichtlöslichen Salze zu erklären, nimmt man häufig an, dass dieselben aus dem Meerbusen in den Ozean zurückdiffundierten. Wenn man kennt, wie außerordentlich langsam der Diffusionsprozess abläuft, wenn es sich wie hier um Entfernungen von Hunderten von Kilometern handelt, muss man diesen Erklärungsversuch gänzlich aufgeben. Man kann aber zwei andere Auswege benutzen. Der seichte Meerbusen versandete zufolge von Wüstenstaub, der sich wie ein für Wasser undurchlässiges Sediment, der Salzton, über den Salzschichten hinlegte, bevor die Salzausscheidung vollständig war. Oder alle Salze wurden ausgefällt; zufolge der Wasserausscheidung aus Salzen wie Gips, Reichardtit und Kainit, sobald sie auf höhere Temperaturen gebracht wurden, trat Wasser zu den leichtlöslichen ausgeschiedenen Salzen hinzu, diese wurden gelöst und durch Diffusion oder Auspressung durch die bei den Volumenänderungen entstandenen Risse entfernt. Vermutlich haben alle beide Umstände mitgewirkt.

Die eigentümlichen »Verkrampfungserscheinungen» im Anhydrit deuten darauf hin, dass derselbe sekundär unter grossen Volumenänderungen umgeformt ist. Es ist daher natürlich, anzunehmen, dass Gips sich ursprünglich ausgeschieden hat, was auf eine Temperatur von weniger als 25° hindeutet. (Dabei sieht man von den aller ersten Ausscheidungen ab, die vor der Ausscheidung von Kochsalz vorkamen, wenn also das Meeresswasser noch nicht in Bezug auf Kochsalz gesättigt war.) Die

grosse, bei Temperaturerhöhung über 25° C. ausgeschiedene, Wassermasse löste Kochsalz aus der Umgebung, so dass grosse flüssige Partieen entstanden, durch welche die umgebenden Schichten sich verschieben konnten unter starker Verbiegung und Verschiebung der umgebildeten lockeren Anhydritschichten. Dieselben zeigen deshalb sehr ausgeprägte Gewirren oder Verkrampfungen sowie Abweichungen von Parallelität in den verschiedenen Schichten.

Der genannte Umstand deutet darauf hin, dass die Temperatur bei der Ausscheidung unter 25° C. lag, was gänzlich den Ansichten der Geologen entspricht. Das Eigentümliche trifft nun ein, dass es bisweilen vorkommt, dass zwischen zwei Anhydritbetten eine allerdings recht dünne Schicht von Gips liegt. Nach Mitteilung von Hrn LACHMANN trifft dies in der Tiefe von 1295—1303 m im Bohrloch N:o 6 bei Amsdorf (im Mansfeldischen) im unteren Zechstein zu, während unmittelbar unter dieser 7 m dicken Schicht von Stinkstein mit Gips und 1,3 m dicken Gipsschicht, sowie 3,5 m höher, Anhydrit auftritt. Diese sehr eigentümliche Erscheinung dürfte wohl kaum in anderer Weise gedeutet werden können, als durch Annahme dass nach der Abkühlung der betreffenden Anhydritschichten Wasser stellenweise zum Anhydrit gekommen ist, der sich dann in Gips zurückverwandelt hat.

Dieser Umstand, dass der ursprüngliche Gips in Anhydrit verwandelt worden ist, macht es höchst wahrscheinlich, dass das ursprünglich ausgeschiedene Magnesiumsulfat aus Reichardtit bestand, der erst bei etwa 32° C. sein Wasser abgibt. Die mit dieser Wasserabgabe verbundene Verflüssigung ist höchst bedeutend, viel grösser als diejenige bei der »Schmelzung« des Kainits bei 73° (vgl. Fussnote S. 11). Deshalb ist es wohl unzweifelhaft, dass die Umwandlung von Reichardtit in Kieserit und Wasser die grösste Rolle bei der starken Deformation der Salzsichten gespielt hat. Das dabei entstandene Wasser ist zu den Bischofitablagerungen hingekommen und hat diese aufgelöst, so dass sie entfernt werden konnten.

Die Mächtigkeit der entstandenen Verflüssigungen war so gross, dass bedeutende Schichten der schwerer löslichen Salze, speziell Chlornatrium, zum Boden der so entstandenen Flüssigkeitsräume sanken, um von Carnallit und Hartsalz überlagert zu werden. Der Carnallit kam auch unter diesen Flüssigkeitsräumen vor, so dass die über ihnen liegenden Steinsalzschichten

zwischen dem ursprünglichen, ungelösten und dem nachträglich ausgeschiedenen Carnallit auskeilen, wie das nach Hrn LACHMANN's Mitteilung regelrecht in Stassfurt vorkommt.

Hr. LACHMANN hebt hervor, dass nur selten die starken Verbiegungen von Kristallen in den Arabesken vorkommen, die man nach der RINNE'schen Lehre von der Deformation der Steinsalzlager zufolge von Gebirgsfaltung erwarten müsste. Dies hängt offenbar davon ab, dass bei der Verflüssigung nur wenige isolierte Kristalle in den alten Steinsalzschichten verblieben, das meiste wurde aufgelöst. Bei der nachträglichen Auskrystallisierung des Steinsalzes schieden sich die neuen Kristalle an den schon vorhandenen aus, so dass neue Steinsalzschichten sich ausbildeten in den Zwischenräumen, wo solche früher sich befunden hatten. Die Kieseritkristalle schieden sich da aus, wo Kieseritkristalle sich früher befanden u. s. w. Auf diese Weise blieben die verschiedenen Kristallgattungen — wenigstens der Hauptsache nach — von einander getrennt und schieden nicht in Form eines Eutechtkums aus. Dabei gab es keine Veranlassung zum Entstehen von Verbiegungen, da der Druck nach allen Seiten hin gleichmässig war.

Viele Salzstücke treten nicht in den Tag, sondern bleiben unter der Erdoberfläche, trotzdem ohne Zweifel Salz stetig von unten hinaufgeschoben wird. Es beruht dies offenbar auf dem Umstand, dass das Grundwasser den oberen Teil des Salzstockes ebenso schnell auflöst, wie er von unten hinaufdringt.

Eine solche Bildung tritt ein, wenn die für Wasser undurchdringliche Salztongeschicht nicht bis zur Erdoberfläche den Salzstock einkleidet. Denken wir uns diesen Salzton in unsrer Fig. 3 durch einen kreisförmigen horizontalen Schnitt rund um den Salzstock von einer gewissen Höhe an entfernt, so wird Wasser überall über diesem Niveau zirkulieren und das Salz entfernen. Über dem Salzstock innerhalb des kreisförmigen Schnittes legt sich Wasser. Dies sättigt sich mit Salz, die Lösung ist dichter als das Grundwasser und liegt schützend über dem Salzstock, nur eine seichte schalenförmige Aushöhlung in dem oberen Teil des Salzstocks entsteht, worin Salz durch die Lösung zum Grundwasser diffundiert. Der fast horizontale Boden dieser Aushöhlung wird wegen seiner ebenen Fläche »der Salzspiegel« genannt. Offenbar braucht die Begrenzung der schützenden Tonsicht nicht dafür horizontal zu sein. Das Salzwasser tritt durch den tiefsten Punkt des Salztonrandes heraus und

liegt horizontal in dieser Höhe. Höher hinauf liegt das Grundwasser. Der Unterschied des spezifischen Gewichtes dieser zwei Flüssigkeiten macht die Grenzebene horizontal, infolgedessen wird auch die Begrenzung des Salzstocks, d. h. der Salzspiegel, horizontal und seine Lage durch den genannten tiefsten Punkt der oberen Salztongrenze bestimmt.



Tryckt den 6 februari 1912.

*Ueberreicht
durch Dr. Richard Lachmann
(Breslau)*

Berichtigungen:

- S.2.Z.10. „Kalilayer“ statt „Hartsalzlayer“
S.8.Z.31. ebenso
S.12.Z.27. ebenso
S.13.Z.6. ebenso
S.23.Z.16. „mittlerer“ statt „unterer“
-