

den Rohhumuswässer seine Entstehung verdankt. Vergleiche mit rezenten Bildungen derselben Art waren damals nur zum geringen Teil möglich. Trotzdem hat Wüst, den hier mitgeteilten Beobachtungen weit vorausseilend, in allen Einzelheiten und vielfach im Gegensatz zu den damals herrschenden Anschauungen das Bild der Entstehung von Braunkohle und Kaolin in Mitteldeutschland richtig gezeichnet.

Erst jetzt ist es auf Grund eingehender Untersuchung der tropischen Feuchtgebiete und ihrer Böden gelungen, durch exakte Bodenforschungen genau das festzustellen, was der Geolog schon durch Induktionsbeweise als richtig erkannt hatte.

Hieraus ergibt sich, wie wichtig es ist, immer tiefer und gründlicher die Erscheinungen der Jetztzeit zu erforschen. Mancherlei Widersprüche, die sich bisher aus der stratigraphisch-historischen Überlegung einerseits und der Beobachtung der heutigen Verhältnisse andererseits ergaben, werden dann eine widerspruchslose Aufhellung finden und die sichere Deutung der Ablagerungen der Vorzeit ermöglichen. Allzu geringe Kenntnis gerade der geologischen Verhältnisse und Vorgänge der Jetztzeit hat in vielen Fällen bisher die Erkenntnis gehemmt. Der Bodenforscher ist berufen, die Untersuchung und Deutung der geologischen Vorgänge der Jetztzeit entlang der Oberfläche der Festländer durchzuführen und damit in seinem Teil der Wissenschaft von der umfassendsten Kenntnis der Vorzeit, der Paläogeographie, die Wege zu ebnen.

Fortschritte der mineralogischen und geologischen Erforschung der permischen Salzlagerstätten seit dem Jahre 1907.

Mit einem Verzeichnis der seit 1907 erschienenen Literatur.

Von E. Lehmann, Halle (Saale).

Einleitung.

Das Jahr 1907 bildet einen Markstein in der Geschichte der Erforschung der Salzlagerstätten. In diesem Jahr erschien als Festband des X. Allgemeinen deutschen Bergmannstages zu Eisenach das Sammelwerk „Deutschlands Kalibergbau“, in dem F. Beyschlag und H. Everding in einer Abhandlung „Zur Geologie der deutschen Zechsteinsalze“ und E. Erdmann in einer solchen „Die Chemie und Industrie der Kalisalze“ einen Überblick gaben über die Ergebnisse der bisherigen Forschung und über den Stand unserer damaligen Kenntnis der Mineralogie und der Geologie der Salzlagerstätten. Aber weit darüber hinaus wurden diese Arbeiten dank der in ihnen enthaltenen neuen Ideen zum Ausgangspunkt einer neuen Entwicklungsperiode und eine kräftige Neuanregung für das Studium der Salzlagerstätten. Es war ein glücklicher Zufall, daß fast um dieselbe Zeit die umfassenden theoretischen Untersuchungen van't Hoff's und seiner Mitarbeiter sich ihrem Abschluß zuneigten und so, während jene erstgenannten Arbeiten auf der Fülle der Beobachtungen in der Natur fußten, von den Gesetzen der physikalischen Chemie und vom Experiment ausgehend, das Problem der Bildung der ozeanischen Salzablagerungen beleuchteten. Aber noch liefen die beiden Wege nicht in Eintracht nebeneinander her, noch ergaben sich allerorts Widersprüche zwischen den idealen Voraussetzungen der Theorie

und den äußerst komplexen Verhältnissen in der Natur, Widersprüche, deren Überbrückung um so schwieriger erschien, je genauer man sie betrachtete. Und doch bildeten diese beiden Untersuchungen die Angelpunkte für die erfolgreiche Behandlung des Problems in den folgenden Jahren, dessen prinzipielle Lösung erst neuerdings gelungen ist. Wie kräftig das Interesse an dem Gegenstand durch sie belebt wurde, aber auch welch einer Fülle von Arbeit es zur Erreichung dieses Zieles bedurfte, das zeigt am besten die Fülle der in dieser Zeit erschienenen Literatur, die am Schluß, soweit sie mir wenigstens bekannt geworden ist, zusammengestellt ist, zeigt auch die Tatsache, daß seit dem Jahre 1907 die Zeitschrift „Kali“ von dem Verein der Deutschen Kaliinteressenten herausgegeben wird als zusammenfassendes Organ der wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Entwicklung des deutschen Kalibergbaues. Diese Zusammenstellung bildet eine Fortsetzung des gleichfalls in „Deutschlands Kalibergbau“ enthaltenen, von E. Zimmermann aufgestellten Literaturverzeichnisses bis zum Jahre 1920. Ausländische Literatur konnte hierbei leider nur in geringem Umfang berücksichtigt werden, ein Mangel, der jedoch durch die Tatsache weniger empfindlich wird, daß die Entwicklung unserer Kenntnis der Salzlagerstätten sich naturgemäß ganz überwiegend an deutsche Namen und deutsche Vorkommen knüpft. Die nachfolgenden Zeilen aber wollen einen kurzen Überblick geben über die wichtigsten Ergebnisse der zahlreichen und vielseitigen Forschungen auf dem Gebiet der Mineralogie und Geologie der Salzlagerstätten in dem Zeitraum seit 1907.

I. Die Untersuchungsmethoden.

Chemische Untersuchung.

Auf die Entwicklung der chemisch-analytischen Untersuchungsmethoden, die ja bereits von jeher für die Erforschung der Kalisalze ausschlaggebende Bedeutung besaßen, und die auch in dem in Betracht gezogenen Zeitraum eine mannigfache Ausgestaltung und vielfache Vertiefung erfuhren, soll an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden. Eine zusammenfassende Betrachtung derselben gibt H. Roemer in dem Aufsatz „Die gebräuchlichsten Untersuchungsmethoden für Kalisalze“ („Kali“ III, 1909, 409—416), eine ebensolche ist in dem „Laboratoriumsbuch für die Kaliindustrie“ von L. Tietjens und H. Roemer, Halle 1912, Verlag von Wilhelm Knapp, enthalten. Nur das eine sei betont, daß nur aus genauen, auch die untergeordneten und technisch unwichtigen Bestandteile voll berücksichtigenden Analysen Schlüsse auf die mineralogische Zusammensetzung und die Bildung der Salze angängig sind, und kurz darauf hingewiesen, daß auch mikrochemische Methoden vielfach ein zweckdienliches Mittel für die Untersuchung der Salze an die Hand geben. Als Beispiel hierfür sei die Möglichkeit der Unterscheidung von Steinsalz und Sylvin im unbedeckten Dünnschliff erwähnt durch Auftragen eines Tropfens Platinchloridlösung, der beim Steinsalz klar bleibt, während sich beim Sylvin sofort Kaliumchloroplatinat in ihm ausscheidet.

Indessen vermag uns die chemische Analyse lediglich die Kenntnis der quantitativen Beteiligung der verschiedenen Elemente am Aufbau der Salzgesteine zu vermitteln, sie ist aber nicht in der Lage, einwandfreie Auskunft darüber zu erteilen, zu welchen Mineralkomponenten diese Elemente im Gestein zusammen-treten. So sei beispielsweise nur darauf verwiesen, daß nach den analytischen Vorschriften des Kalisyndikats bei der Berechnung der Analysen so zu verfahren ist, daß das Calcium als Calciumsulfat berechnet, die darüber hinaus vorhandene Schwefelsäure zu gleichen Teilen an Kalium und Magnesium gebunden, die Restmenge dieser Elemente schließlich mit Chlor zu Chlorkalium und Chlormagnesium vereinigt wird. Daß diese Berechnung der Wirklichkeit vielfach nicht entspricht,

darauf hat H. Precht aufmerksam gemacht. Sie ergibt z. B. für die ca. 2%₀ betragenden Verunreinigungen im Jüngerem Steinsalz etwa die Zusammensetzung des Polyhalits $[K_2SO_4 \cdot 2CaSO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 2H_2O]$, während die gesonderte Ermittlung des in Alkohol löslichen Chlormagnesiums auf ein Gemenge aus Anhydrit, Kieserit und Chlorkalium führt. Den richtigen Weg für die Verwertung der chemischen Analyse vermag allein die gleichzeitige mikroskopische Untersuchung des betreffenden Salzgesteins zu weisen.

Mikroskopische Untersuchung.

Um mikroskopische Untersuchungsmethoden mit Erfolg auf die Salzgesteine anwenden zu können, ist in erster Linie die möglichst genaue Ermittlung des kristallographischen Charakters und der physikalischen, insbesondere der optischen Eigenschaften der einzelnen Salzminerale erforderlich. Die Kenntnis des Symmetriegrades, des Brechungsvermögens, der Doppelbrechung usw. bietet die Grundlage für die mineralogische Analyse der Salzgesteine, und manche Arbeit, die dem Praktiker bisher als eitel Theorie erschienen sein mag, gewinnt, so betrachtet und beurteilt, einen hervorragenden praktischen Wert. Die in Betracht kommenden Untersuchungsmethoden geben uns Kristallographie und Physik an die Hand, der Grad ihrer Genauigkeit, von jeher schon ein ansehnlicher, hat bis in die neueste Zeit durch Verfeinerung und Vermehrung der Instrumente eine Steigerung erfahren.

Wesentlich geringer sind die Anforderungen, die an die Genauigkeit gestellt werden, wenn es gilt, die am Aufbau eines Salzgesteins beteiligten Mineralien festzustellen, d. h. diese auf Grund des einmal ermittelten kristallographisch-optischen Charakters zu identifizieren. Die hierfür zur Verfügung stehenden Methoden schließen sich eng an die in der Petrographie der Eruptivgesteine und Sedimente gebräuchlichen Methoden an. Als Werkzeug für diese Untersuchungen dient das Polarisationsmikroskop mit seinen Nebenapparaten, als Untersuchungsobjekt der Gesteinsdünnschliff. Die weitgehende Anwendungsmöglichkeit und die Fruchtbarkeit dieser mikroskopisch-petrographischen Methoden haben in den verflossenen Jahren zahlreiche Arbeiten von H. E. Boeke, M. Naumann, K. Beck, C. Rühle, P. Kling, W. Berger, K. Brunhöver u. a. erwiesen. Schwierigkeiten boten sich hierbei gegenüber den Silikat-, Karbonat- usw. Gesteinen zunächst in der Anfertigung der Dünnschliffe, ihren Grund hatten sie in erster Linie in der starken Löslichkeit, sodann aber auch in der lockeren Struktur und in der geringen Widerstandsfähigkeit vieler Salzminerale gegen Erhitzen. Als Schleifflüssigkeit empfiehlt Naumann Erdnußöl, nicht Petroleum, das den Kanadabalsam löst, zum Reinigen der Schliffe Öl, Äther oder Xylol. Alkohol, der zum Reinigen der Schliffe sonst Verwendung findet, muß vermieden werden, da er $MgCl_2$ -haltige Mineralien rasch zerstört. Canadabalsam, der zum Aufkitten und Eindecken der Salzdünnschliffe dient, muß zuvor vollkommen entwässert und darf nicht zu heiß angewandt werden. Die Möglichkeit der Bestimmung der Mineralien teilt der Dünnschliff mit den nachstehend noch aufgeführten Untersuchungsmethoden, die er an Genauigkeit übertrifft, wo quantitative Messungen (Doppelbrechung, Achsenwinkel, Dispersion) in Frage kommen, er ausschließlich gestattet aber zugleich ein genaues Studium des gegenseitigen Verhaltens der Mineralien, ihrer gegenseitigen Wachstumsbeeinflussung, ihrer Altersbeziehungen, ihres Mengenverhältnisses sowie der feineren Struktur des Gesteins, und wird damit zum wichtigsten Hilfsmittel für das Aufdecken der Bildungs- und Umwandlungsvorgänge des Gesteins, d. h. für die Beantwortung gerade solcher Fragen, die vom allergrößten praktischen Interesse werden können.

Einfacher und verhältnismäßig rasch, aber ohne Zweifel weniger genau und absolut zuverlässig nur in Verbindung mit anderen Bestimmungen ist die von C. Rühle empfohlene Bestimmungsmethode durch Einbetten gepulverter

Salzproben in Kreosot oder Cymol. Röhle bettet das nach dem spezifischen Gewicht bereits roh getrennte Gesteinspulver in ein Kreosot (Kreosot alb. pur.) mit bekanntem Brechungsvermögen (n_{Na} ca. 1,533 bis 1,536) und beobachtet bei aufgesetztem Kondensator und etwas gesenktem Polarisator die verschiedenfarbig gesäumten Ränder der Mineralkörner. Das Auftreten solcher verschiedenfarbiger Ränder beruht auf der infolge des Unterschiedes der Lichtbrechung zwischen Medium und Mineralkorn an den Berührungsstellen auftretenden Totalreflexion. Die Methode ist in der Petrographie keineswegs neu, sie stammt von Schroeder van der Kolk („Kurze Anleitung zur mikroskopischen Kristallbestimmung“, Wiesbaden 1899, C. W. Kreidel, bzw. in zweiter Auflage: „Tabellen zur mikroskopischen Bestimmung der Mineralien nach ihrem Brechungsindex“, Wiesbaden 1906, C. W. Kreidel) und ist bekannt unter dessen Namen.

Gravimetrisch-optische Untersuchung.

Eine weitere Untersuchungsmethode, die ausschließlich in der Salzpetrographie Verwendung findet, ist die sog. gravimetrisch-optische Methode. Sie ist, wie bereits aus dieser Bezeichnung hervorgeht, eine Verbindung zweier Bestimmungsmethoden, der Trennung nach dem spezifischen Gewicht in verschiedene scharf abgegrenzte Mineralgruppen und der optischen Untersuchung der so erhaltenen Gruppen. Sie erhielt ihren Namen von Riedel, der sie zuerst anwandte als Vorprüfung zur Analyse und als Schlüssel zum Umrechnen der ermittelten Elementenprozentage in Mineralprozentage. Als ihre besonderen Vorzüge führt Riedel an: Überblick über sämtliche Gemengteile in kurzer Zeit, Erleichterung ihrer Bestimmung infolge der Zerlegung in einzelne Gruppen, bequeme mikrochemische Prüfung, Ermöglichung einer rohen quantitativen mechanischen Analyse (Ersatz für chemische Gewichtsanalyse), Erkennung auch sehr kleiner Mengen eines Minerals im Salzgestein, das im Dünnschliff nur zufällig erhalten und durch die chemische Analyse überhaupt nicht angedeutet wird. Sie ist schließlich, und das ist unzweifelhaft ihr größter Vorzug gegenüber dem Dünnschliff, imstande, ein möglichst getreues, der chemischen Analyse entsprechendes Bild von der mineralogischen Zusammensetzung dann zu geben, wenn zur Analyse „eine Mischprobe von einer größeren, nicht homogenen Folge eines Salzgesteins“ benutzt wird, in welchem Fall das gleiche Ziel nur durch eine größere Anzahl von Dünnschliffen erreicht würde. Die Trennung der Proben erfolgt zweckmäßig mit dem von Dreibrodts beschriebenen Trennungsapparat nach Luedecke. Als schwere Flüssigkeit wird im allgemeinen Tetrabromäthan benutzt, das durch Toluol in dem gewünschten Grade verdünnt wird. In der Regel genügt die Zerlegung in zwei bis drei Gruppen, weitere Trennungen sind nur erforderlich, wenn es sich um Bestimmung eines schwer zu erkennenden Minerals handelt, oder wenn ein Mineral nur in sehr geringer Menge vorhanden ist. Wichtig ist zunächst die Entfernung von Steinsalz (spez. Gew. 2,165), da dieses meist in störenden Mengen zugegen ist. Röhle benutzte hierfür eine Lösung von der Dichte 2,25 und isolierte dann aus dem leichteren Anteil die Komponenten mit geringerem spezifischen Gewicht als Steinsalz — Sylvit (spez. Gew. 1,987), Carnallit (spez. Gew. 1,602), Kainit (spez. Gew. 2,132) usw. — mit Hilfe einer Lösung von 2,13 Dichte. War eine nochmalige Trennung des schwereren Anteils erwünscht (Gegenwart von Anhydrit [2,96], Borazit [2,9–3], Glauberit [2,77–2,85], Langbeinit [2,83], Polyhalit [2,77–2,78] u. a.), so erfolgte sie mit einer Lösung von der Dichte 2,73. Maßgebend für die Korngröße des zu untersuchenden Gesteinspulvers ist naturgemäß die Korngröße des Gesteins, eine vollständige Trennung in die einzelnen Mineralien ist anzustreben; möglichste Gleichmäßigkeit des Kornes ist erforderlich; Salzstaub muß zuvor abgeseibt werden, da er sich in der schweren Flüssigkeit zusammenballt, ohne sich nach dem spezifischen

Gewicht zu sondern; zu große Körner müssen besonders für sich zerkleinert werden.

Entnahme der Proben für die Untersuchung.

Die Entscheidung darüber, ob der Dünnschliffuntersuchung oder der gravimetrisch-optischen Methode der Vorzug zu geben ist, hängt eng zusammen mit der Art der Probeentnahme des Untersuchungsmaterials. Geschieht diese in der Form sogenannter Hackproben, so muß die gravimetrisch-optische Methode Anwendung finden; erfolgt sie aber in einzelnen Handstücken, so leisten für die Bestimmung der Mineralien beide Methoden die gleichen Dienste. Stets muß, wenn Struktur, Verhältnis der Gesteinskomponenten zueinander, Altersbeziehungen usw. Berücksichtigung finden sollen, die Dünnschliffuntersuchung neben der gravimetrisch-optischen einhergehen.

Die Frage, ob Hackproben oder Handstücke ein zutreffenderes Bild der Lagerstätte wiedergeben, läßt sich allgemein nicht entscheiden. Bei gleichmäßiger Beschaffenheit über weite Erstreckung ist das erstere, bei raschem und häufigem Wechsel der Salze sowie innerhalb der Einzelschichten das letztere Verfahren vorzuziehen.

Hand in Hand mit der chemischen Analyse sind die Ergebnisse der petrographisch-mikroskopischen Untersuchung imstande, den quantitativen Anteil der Mineralmoleküle am Gesteinsaufbau aufzudecken, dessen Kenntnis erst eine zutreffende Beurteilung des Gesteins und einen Vergleich der Gesteine untereinander ermöglicht. Beides wird erleichtert, wenn man an Stelle der Zahlenreihen graphische Darstellungen heranzieht.

Graphische Darstellung der Salzgesteine.

Eine rasche Orientierung über die Natur des Salzgesteins ermöglicht eine von H. E. Boeke vorgeschlagene Darstellungsmethode. In ihr finden die Hauptbestandteile der Salze, Natrium, Kalium, Magnesium, Calcium und Schwefelsäure, Berücksichtigung. Chlor ist infolge der bestehenden chemischen Neutralität aus der Differenz der Metalläquivalente und der Schwefelsäure zu entnehmen. Die Darstellung erfolgt auf drei unter 60° sich schneidenden Geraden, ausgehend vom Schnittpunkt. Dargestellt werden in Atom- bzw. Molekularproportionen (Division der Gewichtsprozent durch die Atom- bzw. Molekulargewichte) folgende Größen:

1. c = Atome alkohollösliches Mg (= Mole Carnallit),
2. s = Mole SO_4 ,
3. ma = Rest der Atome Mg (m) + Atome Ca (a nach Anhydrit),
4. a = Atome Ca,
5. k = Rest der Atome K (d. h. das nicht in Carnallit gebundene Kalium, also Atome K abzüglich c),
6. n = Atome Na.

Die Zahlen 1 bis 6 bezeichnen die Reihenfolge der Auftragung auf den sechs Strahlen des entstehenden Sterns, beginnend rechts, fortschreitend entgegen dem Sinne des Uhrzeigers (Abb. 28). $c + m + a + k + n$ wird auf die Summe 100 berechnet. Die eingetragenen Punkte werden durch Linien verbunden. Besonders angegeben wird noch eine Wasserzahl W , d. h. die Mole H_2O auf $c + m + a + k + n = 100$ abzüglich des mit dem alkohollöslichen Mg (in Carnallit) gebundenen und des mit dem Restmagnesium äquivalenten (gewöhnlich in Kieserit gebundenen) Wassers. $W = \text{Mole } \text{H}_2\text{O} - 6c - m$. Das so entstehende Bild vermittelt auf den ersten Blick folgende Eigenschaften des dargestellten Gesteins:

- Ausdehnung in Richtung 1 zeigt an ein carnallitisches Gestein.
- Ausdehnung in Richtung 5 (und 6) zeigt an Hartsalze und Sylvinit.

Horizontaler Verlauf der Linie $s - ma$ (d. h. $s = ma$) bezeichnet das Fehlen von Kalium- und Natriumsulfat; die Schwefelsäure ist ausschließlich an Mg und Ca gebunden (Kieserit und Anhydrit neben Steinsalz und Sylvin).

Ansteigen der Linie $s - ma$ von ma nach s gleichbedeutend mit Gegenwart von Kalium- und Natriumsulfaten (Polyhalit, Langbeinit, Schoenit usw.).

Ansteigen der Linie $s - ma$ von s nach ma deutet auf Gehalt von Calciumchlorid (bzw. Tachhydrit).

Verhalten in Richtung 3 und 4 ermöglicht eine Unterscheidung von Kieserithartsalz (4 zurücktretend) und Anhydrithartsalz (4 herrschend).

Aus der Wasserzahl lassen sich folgende Tatsachen entnehmen:

$W = 0$: Carnallit und Kieserit sind die wasserhaltigen Bestandteile.

$W < 0$: Anwesenheit wasserfreier Magnesiumsulfatverbindungen (Langbeinit), falls der Verlauf der Linie $s - ma$ damit übereinstimmt.

$W > 0$; $s - ma$ horizontal: Gegenwart von Kainit oder Reichardt.

$W > 0$; $s - ma$ schief: zahlreiche Möglichkeiten von Mineralien, wie Polyhalit, Schoenit und z. T. selteneren, wie Astrakanit usw. Auch Ton veranlaßt eine positive Wasserzahl.

Zur Erläuterung sind in Abb. 29 bis 31 drei den Arbeiten Boekes entnommene Beispiele wiedergegeben, und zwar:

1. Normales Carnallitgestein (kieseritischer Halitcarnallit):

	Prozent	Atom		Prozent	Atom
Na	8,67	= 0,3770	c	= 29,5	Carnallit 59
K	8,31	= 0,2125	s	= 18,1	Steinsalz 22
Mg _{alkl.}	5,17	= 0,2125	m	= 16,0	Kieserit 16
Mg _{nalkl.}	2,82	= 0,1160	a	= 2,1	Anhydrit 2
Ca	0,59	= 0,0147	k	= 0,0	Ton 1
Cl	35,91	= 1,013	n	= 52,4	
SO ₄	12,51	= 0,1302	H ₂ O	= 194,2	
Ton (wasserfr.)	0,86		W	= 1,3	
H ₂ O	25,17	= 1,397			
	100,01				100

2. Sylvinit (Sylvinhalit). Mittlere Sylvinitzusammensetzung nach Feit (Kali III,

1909, 261):	Prozent		Prozent	Atom	
Sylvin	34,0	Na	24,39	= 1,060	c = 0,59
Carnallit	2,5	K	18,17	= 0,4646	s = 0,57
Kieserit	0,6	Mg _{alkl.}	0,22	= 0,00904	m = 0,29
Anhydrit	0,6	Mg _{nalkl.}	0,11	= 0,00452	a = 0,29
Steinsalz	62,0	Ca	0,18	= 0,00449	k = 29,71
Ton	0,3	Cl	54,73	= 1,544	n = 69,15
	100,0	SO ₄	0,84	= 0,00874	H ₂ O = 3,95
		H ₂ O	1,09	= 0,0605	W = 0,12
		Ton (wasserfr.)	0,26		
			99,99		

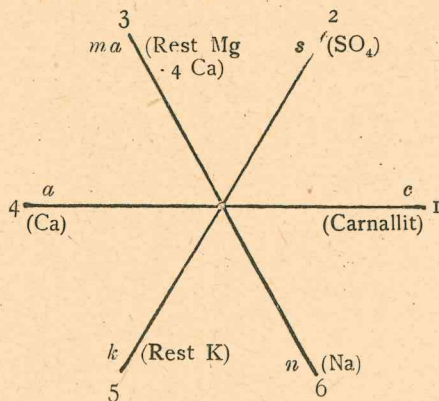


Abb. 28.

3. Anhydritsals (Anhydritischer Halitsylvin), stark sylvinhaltig, Wolkrams-
hausen, Nordhäuser Kaliwerke:

	Prozent	Atom	
Na	12,66	= 0,5505	<i>c</i> = 0,1
K	21,13	= 0,5404	<i>s</i> = 15,3
Mg _{alkl.}	0,02	= 0,0008	<i>m</i> = 0,1
Mg _{n.alkl.}	0,03	= 0,0012	<i>a</i> = 15,1
Ca	7,79	= 0,1943	<i>k</i> = 42,0
Cl	38,40	= 1,082	<i>n</i> = 42,8
SO ₄	18,90	= 0,1967	H ₂ O = 0,8
H ₂ O	0,17	= 0,0094	<i>W</i> = 0,1
Ton (wasserfr.)	0,70		
	<u>99,80</u>		

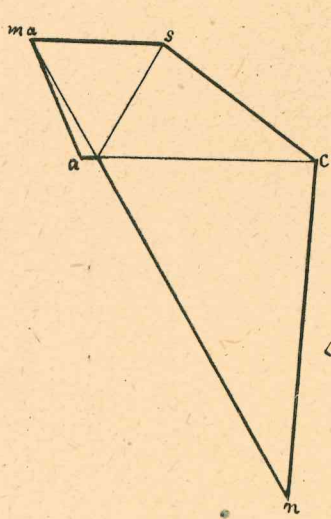


Abb. 29.

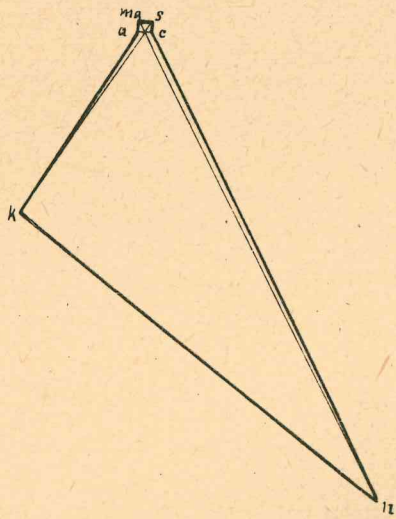


Abb. 30.

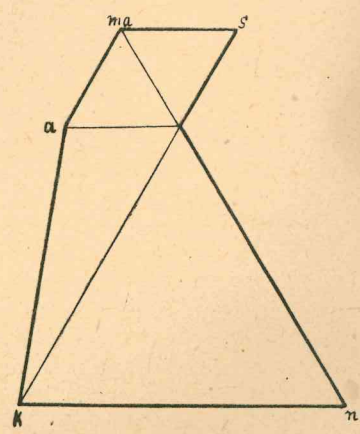


Abb. 31.

Für einen Vergleich einer größeren Zahl von Gesteinsanalysen durch Aufzeichnen der betreffenden Werte auf ein und denselben Stern dürfte sich diese Darstellungsmethode infolge der eintretenden Unübersichtlichkeit weniger eignen.

II. Natürliche Salzminerale und einfache Salzgesteine.

a) Neue Mineralien.

Rinneit.

Die Zahl der natürlichen Salzminerale im engeren Sinne, von denen Erdmann in seiner Zusammenstellung von deutschen Lagerstätten allein 28 auführt, ist nur um ein neues Mineral vermehrt worden, den Rinneit, dessen genaue Untersuchung wir H. E. Boeke verdanken, die durch Beiträge von O. Schneider sowie von Rinne und Kolb ergänzt wurde. Für den Rinneit fand Boeke im Mittel aus mehreren Analysen die chemische Zusammensetzung:

	Berechnet:
Fe = 13,94 %	13,67 %
K = 28,90 „	28,71 „
Na = 5,61 „	5,64 „
Cl = 51,87 „	51,99 „
Br = 0,004 „	

entsprechend der Verbindung $\text{FeCl}_2 \cdot 3 \text{KCl} \cdot \text{NaCl}$, ein Beispiel eines bis dahin unter den Tripelsalzen nicht vertretenen Salztypus. Der Rinneit kristallisiert rhomboedrisch hemiedrisch (= ditrigonal-skalenoedrisch).

$$a:c = 1:0,5766 \text{ (n. Boeke an künstlichen Kristallen)}$$

$$= 1:0,5757 \text{ (n. Schneider an natürlichen Kristallen).}$$

Beobachtet wurden die Formen $r = (10\bar{1}1)$, $a = (11\bar{2}0)$, untergeordnet (0001) , Schneider erwähnt außerdem ein negatives Rhomboeder.

Spez. Gew. = 2,3474 bei 14° (natürliches Material).

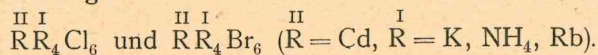
Grob kristallinisch. Spaltbarkeit nach $(11\bar{2}0)$ deutlich. Bruch meistens splinterig. Härte fast 3. Im Reagenzrohr über der Bunsenflamme leicht schmelzend zu einer braunen Flüssigkeit. Geschmack nach Tinte, aber stärker zusammenziehend.

In vollkommen reinem Zustand farblos (künstl. Rinneit vollkommen farblos), meistens schwach rosa, violett oder gelb durch beginnende Oxydation. Starker Glanz, oft seidenartig. Brechung ziemlich stark. Doppelbrechung sehr schwach, positiv. Boeke maß an geschliffenen und mit Deckgläschen bedeckten Prismen für

Li-Licht	$\omega = 1,5836$	$\varepsilon = 1,5832$	$\varepsilon - \omega = 0,0006$
Na-Licht	$\omega = 1,5886$	$\varepsilon = 1,5894$	$\varepsilon - \omega = 0,0008$
Tl-Licht	$\omega = 1,5930$	$\varepsilon = 1,5934$	$\varepsilon - \omega = 0,0009$

Infolge der Zunahme der Doppelbrechung mit abnehmender Wellenlänge sind die Polarisationsstöne anomal.

Rinneit ist isomorph mit den künstlich dargestellten und kristallographisch bestimmten Verbindungen



Vorkommen von Rinneit sind bisher bekannt geworden von den Nordhäuser Kaliwerken bei Wolframshausen im Südharz, von mehreren Stellen aus dem Grubenfeld der Gewerkschaft Hildesia, Diekholzen bei Hildesheim, von den Kaliwerken Salzdetfurth, im Feld der Gewerkschaft Riedel bei Hänigsen. Der Rinneit von Wolframshausen, der den Untersuchungen Boekes zugrunde lag, tritt in linsenförmigen Einlagerungen von meist 80:25 cm, gelegentlich aber auch von weit größeren Dimensionen auf dem Ostflügel einer Sattelkuppe in ca. 550 m Teufe auf. Von Interesse ist das Nebengestein des Rinneits, das Boeke gleichfalls eingehend untersuchte, ein 2 bis 3 m mächtiges gebändertes Hartsalzgestein, dessen Zusammensetzung im unmittelbaren Liegenden der Linse in nachstehender Tabelle unter 1 wiedergegeben ist. Das unmittelbare Hangende der untersuchten Linse bildet eine ca. 3 cm dicke Schicht aus weißem Sylvin, auf die eine ca. 5 cm mächtige rotgefärbte Schicht (Zusammensetzung unter 2) folgt, und die weiterhin übergeht in ein dunkel- und gelblichgrau gebändertes Gestein (Zusammensetzung unter 3). Dieses wird überlagert von ca. 16 m mächtigem konglomeratischem Carnallit.

Gestein	Steinsalz	Sylvin	Anhydrit
1. Rotes Salz unter der Linse	32,2	40,3	26,5
2. Rotes Salz über der Linse	23,3	59,7	16,7
3. Graues Salz weiter im Hangenden	79,3	1,5	15,0

In diesen Gesteinen, besonders in 1 und 2, ist das starke Zurücktreten des Magnesiumsulfats (Kieserits) und an seiner Stelle die starke Zunahme des Anhydrits besonders auffällig. Es sind nicht die üblichen Hartsalze (Steinsalz + Sylvin + Kieserit), auch keine Sylvinite im engeren Sinn (Steinsalz + Sylvin), es handelt sich vielmehr um ein Anhydrithartsalz (1), einen Anhydritsylvinit (2) und ein Anhydritsteinsalz (3), wenn die Benennung in Anlehnung an die technischen Bezeichnungen erfolgt, um anhydritischen Halitosylvin (1 und 2) und

Anhydrithalit (3), wenn die wissenschaftlichen Namen benutzt werden (vgl. hierüber Seite 119). Das Gestein ist so gut wie eisenchlorürfrei, enthält also selbst keinen Rinneit. Boeke neigte zunächst infolge der Einlagerung des Rinneits parallel zur Schichtung des Nebengesteins zur Annahme syngenetischer, d. h. mit dem Nebengestein gleichzeitig erfolgter Entstehung, hielt aber später, als er ähnliche, unzweifelhaft posthume Bildungen von Carnallit, Sylvin usw. wiederholt kennen lernte, die Rinneitlinsen für Spaltenausfüllungen, d. h. für epigenetische Bildungen. Die Vorstellung von der Existenz solcher Spalten in dem plastischen Salz will indessen wenig einleuchten. Man dürfte sich dann noch eher mit dem zur Rinneitbildung erforderlichen hohen Eisenchlorürgehalt (nach den synthetischen Untersuchungen Boekes erfordert die Rinneitbildung mindestens 34% FeCl_2 bei 38°) abfinden, zumal die Rinneitbildung lokal beschränkt ist. Die Verhinderung der Oxydation des leicht oxydierbaren Eisenoxydulsalzes möchte Boeke der reduzierenden Einwirkung organischer Verbindungen zuschreiben.

Jänecke hält für den Rinneit auf Grund seines Vorkommens, der hohen Bildungstemperatur, des hohen Chlorkaliumgehaltes und vor allem des Gehaltes an Eisenchlorür, d. h. der niedrigsten Oxydationsstufe des Eisens, die sekundäre Entstehung für notwendig. Dem Hartsalz gegenüber könne der Rinneit dagegen primär sein. Jedenfalls müsse das Mineral aus stark chlorkaliumhaltigen Lösungen in der Tiefe entstanden sein.

Kupferkies.

Kupferkies, als Salzlagerstättenmineral bisher unbekannt, wurde von F. Glöckner in Salzstufen aus konglomeratischem Carnallit auf einem Kaliwerk der Umgebung von Bleicherode festgestellt, der genaue Fundort ist unbekannt. Um einen Kern aus dichtem Anhydrit von der Größe eines Hühnereies legte sich eine 1 bis 1 $\frac{1}{2}$ cm dicke Schicht milchigen Sylvins, dem stellenweise Brocken roten zersetzten Carnallits aufsäßen. Im Sylvin eingeschlossen lagen kleine, bis stecknadelkopfgroße, gut ausgebildete Kupferkieskriställchen. Diese häuften sich in der Nähe von Anhydritkristallen, die aus dem Anhydritkern in den Sylvin und Carnallit hineinragten, im Kontakt mit ihnen lagen auch die größten Kriställchen.

Kupfergehalt der Salzgesteine.

Nun fanden W. Biltz und E. Marcus, die den Kupfergehalt in den verschiedensten Salzgesteinen aus dem Berlepschschacht zu Staßfurt, im grauen Salzton von Salzmünde, im Mergel des unteren Zechsteins aus einem Bohrloch der Saline Heinrichshall und im unteren Zechstein der Bohrung Mittelberg bei Koburg untersuchten, in den verschiedenen Salzgesteinen auf 200 g Gestein den Kupfergehalt schwankend von 0,1 bis 0,15 mg, in den Anhydritschnüren des Älteren Steinsalzes wenig höher, dagegen eine starke Kupferanreicherung im Salzton und in den an diesen angrenzenden Anhydritschichten, nämlich 0,6 bis 2,7, in den beiden zuletzt genannten Proben sogar 5,46 bzw. 35,0 mg. Die höheren Anhydritschichten erwiesen sich wieder als kupferärmer. Diese starke Kupferanreicherung im Ton ist einer, auch durch den Versuch bestätigten, adsorptiven Wirkung des Tons auf kupferhaltige Lösungen zuzuschreiben.

E. Zimmermann hat auf die Analogie des Kupfergehaltes im Salzton, dem Liegenden des Jüngeren Steinsalzes, mit dem Kupfergehalt im Mansfelder Kupferschiefer, dem Liegenden des Älteren Steinsalzes aufmerksam gemacht, und es sind hieraus Schlußfolgerungen auf die Entstehung des Kupferschiefers gezogen worden (vgl. dieses Jahrbuch, Heft 1, S. 21: Geipel, „Über die Rücken im Mansfeldschen Revier und ihren Einfluß auf die Erzführung“, insbesondere die Diskussionsbemerkungen von E. Erdmann Seite 27 bis 29). Hierzu führte Joh.

Walther (ebenda Seite 33 bis 40) aus, daß wir im Kupferschiefer eine Meeresbildung überhaupt nicht vor uns haben sondern eine Seenbildung auf dem Festland infolge der Umwandlung eines regenreichen Gebietes zur trockenen Wüste, so daß die von Zimmermann hervorgehobene Analogie eine rein äußerliche ist und nicht gestützt wird durch eine gleichartige Genesis.

Magnetkies.

Magnetkies wurde zum erstenmal von E. Harbort als Salzlagerstättenmineral aufgefunden, und zwar im Feld der früheren Bergwerksgesellschaft Allernordstern (jetzt Ronnenberg II, Schacht Groß-Häuslingen) bei Rethem a. d. Aller. Die meist winzigen, höchstens 5 mm erreichenden Kriställchen — sechsseitige Täfelchen scheinen häufig zu sein — sind im Steinsalz und Kainit, im ersteren parallel den Würfelflächen, im letzteren parallel den Prismenflächen, eingelagert, oder aber mit Steinsalz innig durchwachsen, so daß Harbort gleichzeitige Entstehung der Mineralien für sicher annimmt. Die Menge der eingeschlossenen Kriställchen ist gelegentlich sogar eine so große, daß die Salze avanturinähnliches Aussehen erhalten. Die Entstehung erklärt Harbort aus weitgehender, besonders intensiver Reduktion von Eisensulfat durch Bitumina. Daß bituminöse Stoffe in den fraglichen Salzen auch jetzt noch reichlich vorhanden sind, läßt sich schon aus dem Geruch beim Zerschlagen sowie aus dem Auftreten schlagender Wetter in dem betreffenden Feldesteil schließen.

b) Die physikalischen Eigenschaften der Salzmineralien.

Neue Mineralvorkommen.

Umfangreichere kristallographische Untersuchungen schon früher bekannter Salzmineralien wurden ausgeführt über den Tachhydrit von P. Kling, über den Syngenit von H. Schreiber, über den Polyhalit von R. Görgey, über Carnallit und Kainit von K. Busz. Besonders Görgey verdanken wir auch eine genaue Bestimmung von Dichte, Härte und optischen Konstanten zahlreicher wichtiger Salzmineralien. In Anbetracht der Bedeutung, die Dichte, Härte, Brechungsexponenten und Doppelbrechung vor allem für die Diagnose der Salzmineralien zukommt, seien die Ergebnisse der diesbezüglichen Untersuchungen in Anlehnung an eine von Görgey aufgestellte Tabelle (S. 101 u. 102) kurz wiedergegeben.

Isotrope Salzmineralien.

Name	Kristallsystem	Chemische Zusammensetzung	Dichte	Härte	Brechungsvermögen n_{Na}
Steinsalz	regulär	NaCl	2,173	2,5	1,544
Sylvin	regulär	KCl	1,987	2,2	1,490
Langbeinit	regulär	2 MgSO ₄ · K ₂ SO ₄	2,825	4,2	1,535

Tachhydrit.

Am Tachhydrit fand Kling das Achsenverhältnis $a:c = 1:2,112$ aus einem Rhomboederwinkel von $106^{\circ} 30'$. Die Spaltbarkeit nach diesem Rhomboeder ist eine vollkommene. Tachhydrit vermag Eisenchlorür in geringer Menge, nicht aber Eisenchlorid isomorph aufzunehmen, ein Teil des Mg wird hierbei durch Fe vertreten. Hierauf beruht die Gelbfärbung des Tachhydrits. Das Eisenchlorür kann infolge des vorhandenen Kristallwassers zu Eisenchlorid oxydiert werden, dieses wieder in Fe₂O₃ übergehen. Eisenchlorid wurde chemisch nachgewiesen, vereinzelte Eisenglimmerblättchen sind in unregelmäßiger Verteilung eingeschlossen.

Zur Untersuchung diente Tachhydrit von den Halleschen Kaliwerken, von Krügershall und Salzmünde, sein Vorkommen wurde ferner festgestellt im Be-

Optisch einachsige Salzmineraleien.

Name	Kristallsystem	Chemische Zusammensetzung	Dichte	Härte	Brechungsvermögen	Doppelbrechung	Optischer Charakter	
Glaserit	trigonal	$2 K_2SO_4 \cdot Na_2SO_4$	2,697	2,7	$n_{\omega Na} 1,491$	$n_{\epsilon Na} 1,499$	0,008	+
Loewetit	trigonal	$2 MgSO_4 \cdot 2 Na_2SO_4 \cdot 5 H_2O$	2,374	3,6	$n_{\omega Na} 1,490$	$n_{\epsilon Na} 1,471$	0,019	—
Rinnetit	rhomboedrisch	$FeCl_2 \cdot 3 KCl \cdot NaCl$	2,3474	fast 3	$n_{\omega Na} 1,5886$	$n_{\epsilon Na} 1,5894$	0,0008	+
Tachydrilit	rhomboedrisch	$CaCl_2 \cdot 2 MgCl_2 \cdot 12 H_2O$	1,664	2	$n_{\omega Na} 1,5215$	$n_{\epsilon Na} 1,5128$	0,0087	—

Optisch zweiachsige Salzmineraleien.

Name	Kristallsystem	Chemische Zusammensetzung	Dichte	Härte	Brechungsvermögen			Doppelbrechung $\gamma - \alpha$	Optischer Charakter	Achsenwinkel $2 V$
					n_{Na}	β_{Na}	γ_{Na}			
Bischoffit	monoklin	$MgCl_2 \cdot 6 H_2O$	1,591	1,5	1,495	1,507	1,528	0,033	+	$79^{\circ} 24'$
Carnallit	rhomboisch	$MgCl_2 \cdot KCl \cdot 6 H_2O$	1,602	2,7	1,466	1,475	1,494	0,028	+	$69^{\circ} 48'$
Kainit	monoklin	$MgSO_4 \cdot KCl \cdot 3 H_2O$	2,132	3	1,495	1,506	1,520	0,025	—	$84^{\circ} 35'$
Thenardit	rhomboisch	Na_2SO_4	2,673	2,7	1,471	1,477	1,484	0,013	+	$83^{\circ} 35'$
Glauberit	monoklin	$CaSO_4 \cdot Na_2SO_4$	2,85	3,2	1,515	1,532	1,536	0,021	—	$70^{\circ} 10'$
Vanthoffit	monoklin (?)	$3 Na_2SO_4 \cdot MgSO_4$	2,694	3,6	1,485	1,488	1,489	0,004	—	ca. 84°
Kieserit	monoklin	$MgSO_4 \cdot H_2O$	2,573	3,8	1,523	1,535	1,586	0,063	+	$56^{\circ} 44'$
Reichardt	rhomboisch	$MgSO_4 \cdot 7 H_2O$	1,677	2,5	1,433	1,455	1,461	0,028	—	$51^{\circ} 35'$
Glaubersalz	monoklin	$Na_2SO_4 \cdot 10 H_2O$	1,462	1,8	1,396	1,410	1,419	0,023	—	$75^{\circ} 56'$
Syngent	monoklin	$CaSO_4 \cdot K_2SO_4 \cdot H_2O$	2,603	2,8	1,5010	1,5166	1,5176	0,0166	—	{ Rot $25^{\circ} 22'$ Blau $30^{\circ} 34'$
Astrakanit	monoklin	$MgSO_4 \cdot Na_2SO_4 \cdot 4 H_2O$	2,232	3,2	1,486	1,488	1,489	0,003	—	$71^{\circ} 4'$
Leonit	monoklin	$MgSO_4 \cdot K_2(Na_2)SO_4 \cdot 4 H_2O$	2,201	2,7	1,483	1,487	1,490	0,007	—	ca. 86°
Schoenit	monoklin	$MgSO_4 \cdot K_2SO_4 \cdot 6 H_2O$	2,034	2,6	1,461	1,463	1,476	0,015	+	$47^{\circ} 54'$
Polyhait	triklin	$2 CaSO_4 \cdot MgSO_4 \cdot K_2SO_4 \cdot 2 H_2O$	2,775	3,6	1,548	1,562	1,567	0,019	—	ca. 70°

reiche des Georgischachtes bei Wansleben sowie in den am Westrand der Mansfelder Mulde bei Eisleben gelegenen Schächten Wolfshall und Dittrichshall. Von Interesse ist die Feststellung, daß der Tachhydritgehalt im Bereich der Mansfelder Mulde von Osten nach Westen abnimmt, und daß aus dieser Tatsache eine Strömungsrichtung der Laugen, aus denen das Mineral auskristallisierte, von Osten nach Westen gefolgert werden muß. Tachhydrit erscheint am reichlichsten da, von wo die Laugen nach seiner Bildung am raschesten abströmten. Daß es sich dabei aber nicht um durch einsickernde Tagewässer entstandene Durchtränkungs-laugen, sondern um aus der Umbildung der Salze hervorgegangene Auspressungslaugen handelte, hat Jänecke hervorgehoben, der für die Entstehung chlorcalciumhaltiger Laugen Umsetzungen von Magnesiumchlorid mit Gips oder Calciumkarbonat verantwortlich macht. Im übrigen wird die sekundäre Entstehungsweise, die bereits Pfeiffer, Precht, van't Hoff und Loewe für den Tachhydrit annahmen, auch durch Klings Untersuchungen bestätigt.

Syngenit.

In ähnlicher Weise untersuchte H. Schreiber den Syngenit. Veranlaßt wurde die Untersuchung durch die Auffindung von Syngenit als Neubildung auf dem Kaliwerk „Glückauf“, Sondershausen. Hier sammelte sich in einer blind endenden, unter 10° einfallenden, in anhydritischem Hartsalz verlaufenden Strecke (Nordfeld, 663 m-Sohle) Lauge aus Fabrikrückständen, die zum Versatz der oberen Sohlen verwendet waren, und füllte einen großen Teil der Strecke bis zur Firste an, wurde wiederholt ausgepumpt, um sich dann aufs neue zu füllen. Hier fand Zimmermann nach einem solchen Auspumpen Stöße, First und Sohle von Steinsalz-, Sylvin- und Syngenitkristallen überzogen. Von diesen Mineralien ist der Syngenit deshalb besonders merkwürdig, weil solcher bisher nur einmal, und zwar auf der Salzlagerstätte von Kalusz aufgefunden wurde. Er hatte sich in der Strecke in prächtigen 2 bis 3 cm, zum Teil aber auch bis 8 cm langen, auf dem Hartsalz sitzenden Nadeln und Nadelbüscheln zugleich mit Steinsalz ausgeschieden. Schreiber stellte als Kristallflächen (100), (010), (001), (011), (101), (110), (210) und (111) fest und berechnete, etwas abweichend von v. Zepharovich, dessen Werte in Klammern beigefügt sind:

$$a:b:c = 1,352:1:0,871; \quad \beta = 75^{\circ} 55'$$

$$(1,3699:1:0,8738; \quad \beta = 76^{\circ}).$$

Die wichtigsten optischen Konstanten enthält die Tabelle auf Seite 102. Ebene der optischen Achsen \perp (010), b im spitzen Winkel β bildet mit c einen Winkel von $2^{\circ} 17'$. Besonders hervorgehoben sei noch die starke Achsendispersion. Bei Erhitzen tritt für die verschiedenen Farben nacheinander Einachsigkeit ein (für Rot bei $127^{\circ} C$, für Gelb bei $158^{\circ} C$, für Grün bei $172^{\circ} C$), dann gehen die Achsen erst schnell, dann langsamer in einer Ebene parallel (010) wieder auseinander. Bei diesem Versuch nimmt die Dispersion zu bis zum Eintreten der Einachsigkeit, darüber hinaus ab in gleichem Maße. Mitgeteilt sei noch die von Boeke ermittelte chemische Zusammensetzung der Mutterlauge, sowie Schreibers Analyse vom Syngenit.

Lauge:		Syngenit:	
CaSO ₄	2,574 g	auf 1 l (spez. Gew. 1,239)	CaO 17,20
MgSO ₄	12,524	„ „ „	K ₂ O 28,80
MgCl ₂	28,872	„ „ „	SO ₃ 48,40
KCl	117,634	„ „ „	H ₂ O 5,41
NaCl	226,370	„ „ „	<hr/>
H ₂ O (ber.)	851	„ „ „	99,81
	<hr/>	1238,974 g auf 1 l.	

Borate: Kaliborit, Pinnoit, Ascharit.

Anlässlich eines neuen Fundes verschiedener selten vorkommender Borate, des Kaliborit [$\text{KMg}_2\text{B}_{11}\text{O}_{19} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$], des Pinnoit [$\text{MgB}_2\text{O}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$] und des Ascharit [$\text{Mg}_2\text{B}_2\text{O}_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$], im oberen Kainit (Kainithut) von Neustaßfurt durch Precht unterzog Boeke diese sowie den Boracit und den Staßfurtit einer Untersuchung. Er bestimmte für Kaliborit und Pinnoit die optischen Konstanten und stellte auf optischem, thermischem und dilatometrischem Wege fest, daß die Umwandlung des Boracits von der optisch anisotropen pseudoregulären in die optisch isotrope reguläre Modifikation bei 265° auch beim Staßfurtit eintritt, daß also Boracit und Staßfurtit, deren chemische Identität bereits früher bekannt war, auch ein und derselben Modifikation der Verbindung $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{MgO} \cdot 8\text{B}_2\text{O}_3$ angehören. Als Untersuchungsmaterial diente ein bisher unbekanntes Boracit-Vorkommen von Diekholzen bei Hildesheim. Der Versuch, aus dem Staßfurtit durch Umkristallisieren aus Chlormagnesium-Staßfurtit-Schmelzen Boracit herzustellen, gelang nicht.

An einem neuen Vorkommen von Pinnoit auf Schacht III der Herzoglichen Salzwerkdirektion bei Rathmannsdorf konnte C. Riemann feststellen, daß der Pinnoit, der in der Umwandlungszone unter dem Kainithut im Carnallit feinkörnige, gelblich und rötlich gefärbte, durchscheinende, mit Astrakanit verwachsene Aggregate bildet, aus einer Umwandlung des Staßfurtits entstanden ist. Adern des ursprünglichen Staßfurtits durchziehen noch den Pinnoit.

Boracit.

Ascharit, Pinnoit und Kaliborit sind ausschließlich Hutmineralien, also sekundär angereicherte Bildungen, zu deren primärer Ausscheidung der Bor Gehalt des Meerwassers nicht ausreicht. Als primäre Bormineralien kommen Boracit und Sulfoborit [$2\text{MgSO}_4 \cdot \text{Mg}_4\text{B}_4\text{O}_{10} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$] in Betracht, von denen aber bisher nur der erstere auf natürlicher Lagerstätte bekannt geworden ist. Daß Boracit nicht notwendig als solcher aus der Mutterlauge entstanden sein muß, daß er vielmehr in der uns heute begegnenden Form sekundär innerhalb des Salzlagers gebildet wurde, hat M. Naumann durch Untersuchung von Boracitvorkommen von Krügershall, Hallesche Kaliwerke, Salzmünde sowie vom Berlepschschacht nachgewiesen. Schon das Auftreten eckiger und unregelmäßig begrenzter Boracitaggregate im Bezirk der Mansfelder Mulde neben der allgemein verbreiteten Knollenform erweckte Bedenken gegen die frühere Annahme konkretionärer Bildung der Boracitknollen. Die Art des Zusammenvorkommens mit Kieserit im Carnallitlager und die innigen Beziehungen beider Mineralien zueinander machten jene Annahme vollends unhaltbar. Naumann stellt sich die Bildung des Boracits so vor, daß übersättigte (metastabile) borhaltige Lösungen zirkulierten, mit dem Magnesiumsulfat in Reaktion traten und zunächst Boracitkeime ausschieden, und daß die hierbei verbrauchten Borverbindungen teils durch mechanische Lösungszufuhr, teils durch Diffusion ersetzt wurden und dadurch die Bildung größerer Aggregate möglich wurde. Die häufig wiederholte lagenförmige Anordnung des Boracits und die scharfe Begrenzung dieser Boracitlagen brachten Naumann auf den Gedanken, daß wir es mit rhythmischen Fällungen, wie sie Raph. Ed. Liesegang für die Achatbildung und viele andere Mineralien nachgewiesen hat, zu tun haben. Diese Vorstellungen Naumanns dürften nach unserer heutigen Kenntnis der Dinge nicht zutreffen, es wird sich vielmehr auch hier um Bildung aus inkongruenten Schmelzen handeln. Als ursprüngliches Mineral kommt der Sulfoborit in Frage, der sich nach Jänecke in stark MgCl_2 -haltigen Lösungen in Boracit und Kieserit umsetzen mußte, wobei das gleichfalls ausgeschiedene MgO in der reichlich vorhandenen Lauge sich löste.

Lüneburgit.

Im Anschluß hieran sei die erneute chemische Untersuchung des sehr seltenen Lüneburgits $[3 \text{MgO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5 \cdot \text{B}_2\text{O}_3 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}]$, gleichfalls eines sekundären, borhaltigen Minerals, durch W. Biltz und E. Marcus erwähnt, dessen Analyse bereits 1870 durch Noellner ausgeführt worden ist.

	Biltz und Marcus	Noellner
H_2O	32,16	32,2
B_2O_3	12,9	12,7
P_2O_5	29,61	29,8
MgO	25,13	25,3
CaO	0,15	—
	99,95	100,0

Außerdem wurde Fluor in ganz untergeordneter Menge nachgewiesen. Eisen fehlt vollständig. Wie der Lüneburgit chemisch aufzufassen ist, ist noch ungewiß. In Frage kommt isomorphe Mischung mit der triklinen Borsäure oder das Hexahydrat des tertiären Magnesiumsalzes einer komplexen Borophosphorsäure: $\text{Mg}_3[(\text{PO}_4)_2(\text{H}_3\text{BO}_3)_{1,77}] \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$. Salze des letzteren Typus kennt man bislang nicht, wohl aber wird ein Salz $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot \text{B}_2\text{O}_3$ genannt und eine Verbindung $\text{B}_2\text{O}_3 \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ beschrieben. Angaben über die mikroskopische Prüfung des Lüneburgits in derselben Arbeit stammen von Mügge.

Eisensalze.

Die auf den Salzlagerstätten auftretenden Eisensalze hat H. E. Boeke zusammenhängend untersucht. Außer dem bereits erwähnten Rinneit sind es untergeordnet Eisenchlorid (z. B. im Tachhydrit), ferner Eisenglanz, Magnetit, Pyrit und Eisenboracit. Auf synthetischem Wege durch Untersuchung gemischter Lösungen aus Eisenchlorür und Chlormagnesium sowie aus Eisenchlorür und Chlorkalium stellte Boeke die Möglichkeit folgender Verbindungen fest: Eisenchlorürtetrahydrat $[\text{FeCl}_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}]$, Eisenchlorürdihydrat $[\text{FeCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}]$, Ferromagnesiumchlorid, eines Doppelsalzes von Eisenchlorür und Chlormagnesium, $[\text{FeCl}_2 \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}]$, bzw. Ferrokaliumchlorid, eines Doppelsalzes von Eisenchlorür und Chlorkalium, $[\text{FeCl}_2 \cdot \text{KCl} \cdot 2 \text{H}_2\text{O}]$. Dagegen tritt nach Boekes Untersuchungen das von Schabus beschriebene Doppelsalz $\text{FeCl}_2 \cdot 2 \text{KCl} \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$, das Precht in einem im Salztou von Douglasshall gefundenen eisenchlorürhaltigen Salz vermutete und als Douglasit beschrieb, im System der Gleichgewichte nicht auf.

Dieselben Erfahrungen machten bei dem Versuch, dieses Doppelsalz darzustellen, Heyne und Wilke-Dörfurt. Dagegen gelang ihnen die Darstellung der analogen Verbindungen, als sie an Stelle des Kaliums Rubidium und Cäsium setzten, deren komplexe Salze größere Beständigkeit besitzen. Es sind farblose, gut kristallisierende Salze, die an der Luft ziemlich beständig sind und sich nur allmählich durch Oxydation braun färben. Sie sind wie das von Schabus beschriebene Salz monoklin. Ebenso erhielten Heyne und Wilke-Dörfurt aber auch die Ferro-Cäsium- und Ferro-Rubidiumchloride mit einem Molekül Alkalichlorid, also die dem Rinneit Boekes analogen Verbindungen. Wir dürfen also annehmen, daß es auch den Douglasit gibt, doch dürfte sein Existenzgebiet ein sehr beschränktes sein.

Rolle des Eisens im Carnallit.

Die von Kling angestellten Überlegungen zur Erklärung der Färbung des Tachhydrits beruhen auf analogen Feststellungen, wie sie Boeke zur Erklärung des Auftretens von kristallisiertem Eisenoxyd im Carnallit ausgeführt hat. Daß

es sich um Eisenoxyd handelt, hat O. Ruff nachgewiesen, und A. Johnsen hat gezeigt, daß die Eisenglimmerblättchen im Carnallit orientiert eingelagert sind. Die bereits von Ruff gemachte Annahme, daß als Ursprungssubstanz des Eisenoxys Eisenchlorür anzusehen sei, erhält dadurch eine Stütze, daß Boeke experimentell nachwies, daß der Carnallit die Fähigkeit besitzt, in geringem Umfang zweiwertiges Eisen in isomorpher Vertretung des Magnesiums aufzunehmen. Die Entstehung von Eisenoxyd aus dem Eisenchlorür ist noch nicht restlos geklärt. Precht schreibt die oxydierende Wirkung dem Kristallwasser zu, E. Erdmann, der eine Reaktion zwischen Eisenchlorür und Wasser nicht bestätigen konnte, führt sie auf die Wirkung einer zeitweilig vorhandenen Radiumemanation zurück, bei der sich Knallgas bildete. Boeke, der auch durch Einschlüsse flüssigen Eisenchlorids gelb gefärbten Carnallit untersuchte, hält es nicht für unmöglich, daß das Eisenoxyd des roten Carnallits durch Hydrolyse aus ursprünglichem Eisenchlorid entstanden sein könnte. Bereits ein Gehalt von rund 0,04 % Fe_2O_3 genügt, um Carnallit stark rot zu färben. Im Normalprofil des Berlepschschachtes stellte Parchow ein Ansteigen des Eisengehalts des Carnallits von den hangenden zu den liegenden Schichten, dem grauen Salzton, fest.

Schwarzer Carnallit.

Schwarzen (brombeerfarbenen) Carnallit, der neben rotem und gelbem im Hangenden einer Sylvinlinse im Schacht des Bergwerks Hildesia 588 m unter Tag aufgefunden wurde, untersuchten Boeke und A. Johnsen mit dem Ergebnis, daß es sich um Magnetit handelt, der neben Eisenglanz dem Carnallit eingelagert ist und die schwarze Färbung bewirkt.

Eine ganze Anzahl auf Salzlagerstätten seltener Mineralien sowohl im Rückstand des roten Carnallits vom Berlepschschacht als auch des schwarzen von der Hildesia bestimmte O. Mügge, so in ersterem neben Eisenglanz Cölestin, Zirkon, Turmalin (ϵ hellgrün, ω bräunlich), bräunlichen Glimmer, Chlorit, im letztgenannten neben Anhydrit Eisenglanz, Magnetit pseudomorph nach Eisenglanz, Malachit, ein vielleicht mit Brookit zu identifizierendes Mineral, sowie in beiden Carnalliten noch einige Mineralien, deren Zugehörigkeit auf Grund der beobachteten Eigenschaften vorläufig offen gelassen werden mußte, da sie in zu geringer Menge und Größe auftraten.

Färbung des Steinsalzes.

Die Färbung des Steinsalzes (Blau-, Purpur- und Gelbfärbung) hat trotz des vielfachen Interesses, das ihr entgegengebracht wurde, eine einwandfreie Erklärung bis heute nicht gefunden. Da die Lösung blaugefärbten Steinsalzes vollkommen farblos ist, da ferner blaugefärbtes Steinsalz durch Erwärmen farblos, durch Erhitzen in Natriumdampf sowie durch Bestrahlen mit Kathodenstrahlen wieder blau wird, muß die färbende Ursache in physikalischen Vorgängen liegen. Da chemisch reines Natriumchlorid sowohl als auch farbloses Steinsalz nach Versuchen von Doelter durch Bestrahlen mit Kathoden- und andern radioaktiven Strahlen teils gelb, teils blau wurde, so ist sicher, daß radioaktive Vorgänge bei der Färbung eine wesentliche Rolle spielen. Radioaktive Wirkung zeigen nun nach Henriot und Vavon auch Strahlen, die chemisch reine Kalisalze aussenden, und die dem Element K eigentümlich sind. Sie werden als Kalistrahlen bezeichnet und besitzen in ihrem Verhalten Ähnlichkeit mit den β -Strahlen. Elster und Geitel unterwarfen daraufhin die Frage, ob die Aktivität eine wesentliche Eigenschaft des K sei, oder ob sie von beigemengten bekannten Radioelementen herrühre, einer genauen Prüfung und kamen u. a. zu den Ergebnissen, daß kein Unterschied in der Aktivität der natürlichen und künstlichen Kalisalze besteht, daß aktive Substanz vom Kalium nicht abgetrennt

werden kann, daß auch Emanation, d. h. ein gasförmiges Abbauprodukt, nicht vorliegt, und daß schließlich auch die Beimengung eines unbekanntes Radioelementes von genügend langer Dauer, das sich ähnlich wie die Kaliumaktivität verhielte, ausgeschlossen ist. Keinerlei Aktivität zeigten dagegen Natrium, Cäsium, Lithium, während Rubidium wieder radioaktiv war. Es liegt nahe, diese Kalistrahlen zur Erklärung der Steinsalzfärbung heranzuziehen; alsdann müßte blaues oder gelbes Steinsalz an die Nähe von Kalisalzen gebunden sein. Wie Steinsalz nehmen auch Sylvin und andere Haloidsalze beim Erhitzen in Kalium-, Lithium- oder Natriumdämpfen die mannigfachsten Farben (Violett, Blau, Purpurrot, Braun, Gelb) an. Nach H. Siedentopf sind es im Steinsalz intramolekular eingelagerte Natriummoleküle, deren Ionisation die Färbung hervorruft. Dagegen führt Spezia eine Reihe von Gründen an: Lösungen farblosen und gefärbten Steinsalzes reagieren teils alkalisch, teils neutral, die alkalische Reaktion ist vom Pigment nicht abhängig, wie man erwarten müßte, wenn Siedentopfs Auffassung zuträfe, und wenn der Gehalt an Na-Molekülen im blauen Steinsalz etwa gleich wäre dem Goldgehalt in Rubinglas (beide sind von etwa gleicher Durchsichtigkeit); natürlich blaues und in Natriumdampf gefärbtes Steinsalz sind nicht identisch, da die Farbe des ersten bei 275°, die des letzten erst bei 400° verschwindet, und da nach Focke beide ein verschiedenes Absorptionsspektrum besitzen. Daß Radioaktivität nicht ausschließlich die Ursache der Färbung sein kann, dafür spricht die geringe Verbreitung blauen Steinsalzes in den Salzlagern. Die färbende Ursache dürfte für Blau und Gelb jedenfalls ein und dieselbe sein, der Farbenunterschied vielleicht lediglich aus dem verschiedenen Dispersitätsgrad der ionisierten Moleküle folgen.

Über intensiven Pleochroismus, der in natürlichem sowie in künstlich gefärbtem blauem Steinsalz durch Druck hervorgerufen wird, hat F. Cornu berichtet, dessen Versuche Siedentopf bestätigte und erweiterte, und zwar wird das Steinsalz purpurrot, wenn die Lichtschwingungen der Druckrichtung parallel laufen, berlinerblau, wenn beide senkrecht aufeinander stehen. A. Ritzel hat dann gezeigt, daß der Pleochroismus nicht unmittelbar durch den Druck, sondern durch die Translation, d. h. durch die parallele Verschiebung der Teilchen nach bestimmten Gleitflächen, verursacht wird. Bei der eintretenden Deformation des Steinsalzes werden nämlich auch die Na-Teilchen des Steinsalzes deformiert, und die Folge davon ist der Pleochroismus.

Plastizität der Salze.

Eine andere Eigenschaft der Salzminerale, deren Wichtigkeit für die Bildung und Umbildung der Salzlagerstätten vielfach betont worden ist, ist ihre Plastizität. In der Physik versteht man unter Plastizität die Fähigkeit eines festen Körpers zu einer dauernden Deformation ohne Überschreiten der Festigkeitsgrenze, d. h. eine bruchlose Umformung ohne Änderung des Aggregatzustandes. Eine solche besteht bei den Mineralien lediglich in der sogen. Translation, d. h. einer Verschiebung der Teilchen nach bestimmten Gleitflächen. In der Natur treten Plastizitätswirkungen vornehmlich bei Mineralien auf und sind dann häufig mit Zwillingsbildung verknüpft, wobei die Zwillings Ebenen gleichzeitig die Translationsflächen darstellen. Immerhin bilden sie hier eine verhältnismäßig beschränkte Erscheinung. So beschreibt Rinne plastische Deformationen an Steinsalzkristallen aus einem grauen, zwischen Steinsalzschieben eingeschalteten Ton eines Bohrkerns von Gräfentonna in Thüringen, Lachmann solche an einem allseitig in Ozokerit eingeschlossenen Steinsalzkristall von Boryslaw in Galizien, der spiralförmig gedreht ist. Eine wesentlich wichtigere Rolle spielt die Plastizität in der Technik der Metalle, wo sie ja, durch Temperatursteigerung erhöht, deren weitgehende Bearbeitung ermöglicht. Die Temperatur-

steigerung vermindert eben die innere Reibung der Teilchen und macht diese leichter gegeneinander verschiebbar. Daß auch die Plastizität natürlicher Mineralien mit der Temperatur zunimmt, hat L. Milch am Steinsalz gezeigt, indem er Steinsalzstäbchen bei Temperaturen von etwa 200° beliebig deformierte. Diese Versuche wurden dann von G. Schröder und von A. Ritzel fortgesetzt, welche letzterer u. a. feststellte, daß bei 200° für Steinsalz die lange Rhombendodekaederkante, für Sylvin die kurze die einzige Translationsrichtung ist. Des weiteren hat K. Kleinhanns durch Biegungsversuche in Wasser, Öl, gesättigter Salzlösung usw. festgestellt, daß das umgebende Medium auf die Plastizität von Einfluß ist. Nicht ohne Bedeutung auf den erzielten Effekt ist schließlich die Dauer der Druckwirkung, d. h. die Zeit, deren Einfluß F. D. Adams bei seinen Versuchen an Marmor messend verfolgte. Auf experimentellem Wege ist rein plastische Umformung unter den verschiedensten Bedingungen vielfach erzielt und untersucht worden. Aber nur die Versuchsanordnung Kármáns, die die Ausübung von Überdrücken auf einen unter isostatischem Druck (Manteldruck) stehenden Gesteinszylinder gestattet, und die so, indem sie dem seitlichen Ausweichen des gedrückten Körpers erheblichen Widerstand entgegengesetzt, in der Natur möglichen Verhältnissen in gewissem Grade entspricht, soll hier besonders erwähnt werden. Diese Versuche, die sich auf Marmor und Sandstein, d. h. auf verhältnismäßig homogene Gesteine erstrecken, so daß wir ohne weiteres ihre Gültigkeit für Mineralien und auch für Salzgesteine annehmen dürfen, haben ergeben, daß die Plastizität mit zunehmendem allseitigen Druck ein Optimum erreicht, unterhalb dessen die zur Erreichung der Festigkeitsgrenze (Bruch) erforderlichen Überdrücke mit dem Manteldruck abnehmen, oberhalb dessen aber die zur plastischen Umformung notwendigen Überdrücke wesentlich rascher ansteigen als der Manteldruck, bis schließlich bei einer gewissen Höhe dieses eine plastische Formänderung praktisch unmöglich wird. Eine Verkürzung des Marmorzylinders um 5 % wurde bei 500 Atm. Manteldruck durch 2500 Atm. Überdruck erreicht. Die gleiche Verkürzung ließ sich bei Steigerung des Manteldrucks auf 3260 Atm. nicht einmal mit 5000 Atm. Überdruck erzielen. Bei 10000 Atm. Manteldruck lassen sich meßbare Formänderungen nur noch bei den gewaltigsten Überdrücken erwarten. Für die Verhältnisse in der Erdkruste ergibt sich hieraus, daß die plastische Umformung nur innerhalb einer ganz bestimmten Tiefenzone möglich ist. Diese liegt für Marmor zwischen 3 und 6 km, in höheren Lagen führt schon ein mäßiger Überdruck zur Gesteinszertrümmerung, unterhalb 6 km kann eine plastische Umformung nicht mehr stattfinden.

Nun unterscheidet Milch und im Anschluß an ihn Lachmann von der „plastischen Umformung“ eine „bruchlose Umformung“ und versteht unter dieser eine mit einer vorübergehenden Änderung des Aggregatzustandes verbundene Umformung. Indessen ist unzweifelhaft auch die oben erörterte „plastische Umformung“ eine solche ohne Bruch, eine „bruchlose“, und man könnte allenfalls von einer bruchlosen Umformung ohne Änderung des Aggregatzustandes und von einer bruchlosen Umformung unter vorübergehender Änderung des Aggregatzustandes sprechen. Diese zweite Art bruchloser Umformung würde dann die Vorgänge umfassen, die man gewöhnlich als Umkristallisation (Rekristallisation) und als Ummineralisation bezeichnet. Als klassisches Beispiel für eine Rekristallisation wird zumeist das Gletschereis in Anspruch genommen. Wir wissen indessen durch Mügges Untersuchungen, daß auch das Fließen des Eises vornehmlich ein Translationsvorgang ist, d. h. auf einer gegenseitigen Verschiebung seiner Teilchen beruht und nicht auf einer vorübergehenden Schmelzung, wenigstens nicht, soweit seine Temperaturen wesentlich unter Null liegen, in welchem Fall die für ein Schmelzen erforderlichen Drücke unmögliche Mächtigkeiten bedingen. Setzt doch die Herabsetzung des Schmelzpunktes auf -1° einen Druck von etwa

100 Atm. entsprechend einer Mächtigkeit von etwa 1000 m voraus, während eine Erniedrigung bis auf etwa -22° ungefähr 2200 Atm. benötigt. Und auch im Mineralreich dürfte der Fall der Rekristallisation nur sehr beschränkt auftreten. Sie wird ebenso wie die Ummineralisation veranlaßt und gefördert durch die in den Gesteinen zirkulierenden Wässer bzw. beim Salz durch eingeschlossene Laugen.

Kongruentes und inkongruentes Schmelzen der Salze.

Gerade bei den Salzmineralien und -gesteinen aber spielt nach den Forschungsergebnissen von d'Ans und Jänecké sowie Arrhenius und Lachmann eine Art von Ummineralisation eine ganz gewaltige Rolle, eine Ummineralisation freilich, die nicht herbeigeführt wird durch Umlaugen und von Durchtränkungs-laugen, sondern die ihren Grund hat in der verhältnismäßig niedrigen Schmelztemperatur der meisten Salze, die z. T. schon unter der Belastung der aufgelagerten Deckschichten erreicht wird. Und diese Schmelzen einzelner Salzmineralien führen dann zu allerhand Umsetzungen zwischen den verschiedenen Komponenten und zu allerhand Neubildungen aus den beteiligten Molekül- und Ionenkomplexen. Aber diese „Ummineralisationen“ sind in Wirklichkeit nichts anderes als kongruente oder häufiger noch inkongruente Schmelzvorgänge, d. h. Vorgänge, bei denen die Schmelze eine gleiche bzw. eine andere Zusammensetzung besitzt wie die feste Ausgangsphase. Im folgenden soll demgemäß, wo solche Vorgänge erörtert werden, nicht mehr von einer Ummineralisation, sondern von inkongruentem Schmelzen gesprochen werden. Ein solches Beispiel, das praktisch eine Rolle spielt, ist das Schmelzen von Glaubersalz $[\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}]$ bei $32\frac{1}{2}^{\circ}$ unter Bildung von wasserfreiem Natriumsulfat, ein anderes das Schmelzen von Carnallit $[\text{MgCl}_2 \cdot \text{KCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ bei 157° unter Bildung von festem Sylvin $[\text{KCl}]$ und einer magnesiumchloridreichen Flüssigkeit, ein drittes, gleichfalls von größter Bedeutung für die Entwicklung der Salzlagerstätten, das Schmelzen von Astrakanit $[\text{MgSO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$ bei $59,5^{\circ}$ unter Bildung von Vanthoffit $[3\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4]$ und Loewit $[2\text{MgSO}_4 \cdot 2\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}]$ und weiterhin das des Loewits bei 110° unter Bildung von Vanthoffit und Kieserit $[\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}]$, und schließlich ein letztes, nicht minder wichtiges Beispiel das Schmelzen von Kainit $[\text{MgSO}_4 \cdot \text{KCl} \cdot 3\text{H}_2\text{O}]$ bei 83° in Gegenwart von Steinsalz unter Bildung von Langbeinit $[2\text{MgSO}_4 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4]$, Sylvin $[\text{KCl}]$, Kieserit und Restlauge. Mit der Erkenntnis, daß solche und zahlreiche ähnliche Vorgänge bei der Herstellung des heutigen Zustandes unserer Salzlagerstätten beteiligt waren, war der Weg gewiesen, der zu einer Lösung der eingangs erwähnten Widersprüche zwischen den Ergebnissen physikalisch-chemischer Betrachtungen und geologischer Beobachtungen führen mußte und in der Tat führte.

Fasersalze. Kristallisationsdruck.

Eine weitere Eigentümlichkeit, der wir beim Steinsalz außerordentlich häufig, häufiger noch vielleicht beim Gips, dagegen ungleich seltener bei Carnallit, Sylvin, Kainit u. a. begegnen, ist die Kristallisation in parallelfaserigen Aggregaten, die fast ausschließlich Spalten im Ton ausfüllen. Interessante Versuche und Beobachtungen über das Wachstum dieser Bildungen hat R. Schmidt angestellt. Die Versuche, deren Anordnung infolge der Feinheit des Untersuchungsmaterials mit viel Scharfsinn getroffen ist, betreffen hauptsächlich das Steinsalz, in zweiter Linie den Gips. Durch vertikales Aufstellen einer Anzahl natürlicher Fasern mittels Wachs auf einer Glasplatte in gesättigter Chlornatriumlösung wurde die Anlagerung weiterer NaCl-Moleküle an die Faserenden bewirkt und dann durch Feststellung der Orientierung dieser winzigen Steinsalzwürfelchen die Orientierung der Fasern ermittelt. „Die größere Anzahl der Fasern ist nach

Richtungen gestreckt, die in der Würfelfläche liegen, im übrigen aber verschieden orientiert sind. Die kleinere Anzahl der Fasern ist nach irgendeiner außerhalb der Würfelfläche liegenden Richtung gestreckt.“ Zur Entstehung von Fasersalz ist ein poröser Stoff nötig. In der Natur dient als solcher der Salzton, im Experiment werden gleichfalls Tonziegel, Tonzylinder, Kalksandsteinziegel u. dgl. verwandt. Ein würfelförmiger Kalksandsteinziegel, der zirka zwei Monate bis zur Hälfte in Kochsalzlösung stand, und dessen Seiten zur Verhinderung seitlichen Eindringens der Lösung mit Spirituslack und Fettschicht dicht verschlossen waren, überzog sich auf der horizontalen Oberfläche mit einer Faserschicht, die ihre Entstehung nur der Oberflächenspannung der kapillar von unten eindringenden Lösung verdanken konnte. Die Orientierung der künstlichen Fasern stimmte mit der der natürlichen überein. Wurden die Faserenden oder bestimmte Stellen unterhalb der Spitze mit Fuchsin gefärbt, so nahmen die Fasern zwar an Länge zu, behielten aber ihre rote Spitze, die lediglich höher und höher stieg. Das Wachstum der Fasern erfolgt also nicht durch Emporsteigen von Lösung und Auskristallisation auf der Kuppe, sondern an der Basis. Die Faser wird gehoben, hierbei muß mechanische Arbeit geleistet werden. Zu demselben Schluß führte auch ein Versuch, bei dem ein Zylinder aus gebranntem Ton und mit einem Anstrich von schwarzer Ölfarbe auf der Außenseite mit etwas gesättigter Kochsalzlösung gefüllt wurde. Nach $\frac{3}{4}$ Jahren hatte sich zwischen Anstrich und Ton eine dichte Faserschicht gebildet, und der Anstrich wurde beim Wachsen der Fasern — sie erreichten bis $\frac{3}{4}$ cm Länge — weggedrängt und bröckelte ab. Ähnliche Beobachtungen haben bereits A. Kenngot (1855), Doenitz und G. Koch (1877) an faserigem Eis machen können. Nach den Vorstellungen Schmidts stellt jede Pore an der Oberfläche des Tonwürfels bzw. Tonzylinders ein winziges Kristallisationsgefäß (Durchmesser etwa 0,01 mm) vor, in dem ein einziger Kristall aus der aufsteigenden Lösung sich ausscheidet, die Pore verschließt, durch den kapillaren Druck der Lösung aber wieder abgesprengt und gehoben wird, während aus der verdunstenden Lösung ein neues Kriställchen auskristallisiert und sich an das obere parallel anlagert. Die so entstehenden Fasern zeigen die Form der Porenöffnung. Das Wachstum der Fasern hört auf, wenn sie auf Widerstand stoßen oder der Druck der Lösung zu ihrer Fortbewegung nicht mehr ausreicht. Von wesentlichem Einfluß auf das Zustandekommen von Fasern ist die Verdunstung, die dem Lösungsnachschub entsprechen muß. Erfolgt letzterer zu schnell, so bildet sich eine Kristallkruste bzw. eine Anzahl großer Steinsalzkristalle. Bei Selbstregelung der Lösungszufuhr in günstigen Fällen kann die Kruste gehoben werden. Im entgegengesetzten Fall, bei zu rascher Verdunstung, steigt die Lösung nicht bis zur Oberfläche, es findet Kristallbildung in einer etwas tieferen Schicht des Tonwürfels statt. Liegt diese nicht allzu tief, so kann die darüber befindliche Tonschicht in die Höhe gepreßt werden. Die durch die Oberflächenspannung („Kapillardruck“) der Lösung geleistete maximale Arbeit berechnet Schmidt für einen Porendurchmesser von 0,02 mm (gleich dem größten beobachteten Faserdurchmesser) und für kreisförmigen Querschnitt zu 0,5438 mg, entsprechend dem Gewicht einer Steinsalzfasern von 805,6 mm Länge. In der Natur wachsen die Steinsalzfasern in den Tonklüften von der Peripherie nach der Kluftmitte. An der Begegnungsfläche der beiderseitigen Faseraggregate bildet sich eine Schicht körnigen Steinsalzes aus hier zirkulierenden Lösungen. Durchfeuchtung mit gesättigter Lösung und Gebirgsdruck führen zu Umkristallisationen und zur Vereinigung benachbarter Fasern, wahrscheinlich sogar zur Bildung großer Kristalle aus zahlreichen Fasern. Aus den Vorstellungen Schmidts folgt, daß die Bildung der Faseraggregate erst nach Ablagerung der Tonschichten vor sich gehen konnte, und daß die Beschaffenheit der Fasern auf ihr relatives Alter schließen läßt. Feine, leicht ab-

trennbare Bildungen sind jüngere, grobe, miteinander verwachsene ältere Bildungen. Dagegen hält R. Görgy einen solchen Schluß auf das relative Alter der Fasern auf Grund seiner Beobachtungen für nicht zulässig. Schmidt nimmt an, daß die Klüfte, in denen Fasersteinsalz sich bildet, vertikal zur Schichtung stehen müssen, da andernfalls unter dem Drucke der Hangendschichten die Klüfte nicht genügend lange offen gehalten werden könnten. Beobachtungen in Bohrkernen in der Kieler Sammlung bestätigten diese Annahme. Zu einer andern Auffassung von dem Verhältnis von Kluft und Salz kommt R. Görgy auf Grund eigener Beobachtungen an Vorkommen in Tirol und im Elsaß. Nach Görgy sind die lockeren Fasersalze identisch mit den Ausblühungen oder pelzartigen Überzügen auf den Wänden von Stollen, Zimmerungen, Rohrleitungen usw. und völlig verschieden von dem kompakten Fasersalz im Salzton. Görgy bezeichnet jene als „Haarsalze“. Er hält offene Klüfte im weichen, unter Hangenddruck stehenden Ton für unmöglich und zirkulierende Lösungen im Ton für hypothetisch, er nimmt vielmehr an, daß die Salze durch Kristallisationsdruck die Klüfte selbst geschaffen haben, Kohäsionsminima (Sprünge) im Ton benutzend, die lange nach Bedeckung mit mächtigen Hangendschichten durch mechanische (tektonische) Kräfte entstanden waren. Wenn man sich indessen vergegenwärtigt, wie gering die Druckäußerungen im spröden Steinsalz unserer Bergwerke sind, so dürfte die Möglichkeit, daß unter dem Schutze umgebender spröder Steinsalzmassen sich Klüfte im Ton längere Zeit offen halten, nicht ausgeschlossen sein. Diese Vorstellung erscheint jedenfalls einfacher als die eines Kristallisationsdruckes, der groß genug war, die plastischen Tonschichten auseinander zu drängen. Ein weiteres Bedenken besteht darin, daß Fasersalz ungleich verbreiteter sein müßte, wenn Görgys Vorstellung zuträfe. Görgys Auffassung, daß die Lauge, aus der das Fasersalz sich bildete, durch Lösung der kleinen Steinsalzkörner im Ton entstand, wobei das im Ton vorhandene Wasser als Lösungsmittel diene, und daß die Oberflächenenergie der feinst verteilten kleinsten Salzkriställchen das treibende Agens war, das auf Kornvergrößerung und Vereinigung gleichartigen Materials hinwirkte („Sammelkristallisation“), dürfte das Auftreten der Salzlösungen im Ton wohl erklären und auch für die Entstehung der „Tonwürfelsalze“ zutreffen, der Wachstumsvorgang selbst aber ist in beiden Fällen ein anderer.

Ähnliche Vorstellungen wie Görgy hat R. Hennicke, der im roten Salzton von Salzdetfurth Schmitzen faserigen Carnallits fand und untersuchte. Auch er nimmt an, daß die Kristallisation sich selbst den nötigen Platz durch Auseinanderdrängen des Tons geschaffen hat.

Schmidt dehnte seine Untersuchungen dann auch auf Gips aus und stellte hier die Faserorientierung durch Untersuchung der Lage der optischen Konstanten fest. („Alle Fasern sind nach einer im Klinopinakoid liegenden Richtung gestreckt, jedoch innerhalb dieses Klinopinakoids können die Fasern nach jeder beliebigen Richtung orientiert sein.“ Besonders die feinen seidenglänzenden Fasern scheinen die Richtung der Vertikalachse zu bevorzugen.) Für die Entstehung des Fasergipses sowie für die Orientierung der gipsführenden Klüfte nimmt Schmidt analoge Verhältnisse an wie beim Steinsalz. Einer experimentellen Untersuchung wie bei jenem bereitet die geringe Löslichkeit des Gipses Schwierigkeiten.

Die vorstehenden Erörterungen legen den Gedanken an die Existenz einer sog. „Kristallisationskraft“ nahe. Daß eine solche in dem Sinne einer Art von „Innendruck“, ein Wachstum der Kristalle von innen heraus, ähnlich dem in der organischen Natur, nicht besteht, dürfte nicht zweifelhaft sein. Anders verhält es sich mit der Frage nach der Möglichkeit einer „linearen Kraft wachsender Kristalle“, d. h. mit der Frage, ob der wachsende Kristall infolge der Anlagerung von Substanz auch an seiner Auflagefläche sich hebt

oder gar imstande ist, über sein eigenes Gewicht hinaus noch eine Last zu heben bzw. Widerstand zu überwinden, wie dies G. F. Becker und A. L. Day auf Grund einer Reihe von Beobachtungen behaupten, oder ob dies nicht der Fall ist, wie W. Bruhns und W. Mecklenburg auf Grund einer Wiederholung derselben Versuche annehmen. Ob die Versuchsbedingungen in beiden Fällen in der Tat völlig übereinstimmen, oder ob die aus den Versuchen gezogenen Schlußfolgerungen nicht ganz zutreffen, darauf soll hier nicht näher eingegangen werden. Wirkungen, die im Effekt mit dem Versuchsergebnis von Becker und Day sowie mit dem eines Teils der Versuche von Bruhns und Mecklenburg übereinstimmen, kommen in der Natur jedenfalls vor; es dürfte sich aber jedenfalls nicht empfehlen, den Namen „Kristallisationskraft“ anzuwenden, sondern allenfalls von einem „Kristallisationsdruck“ zu sprechen. Die Bildung von Fasersalz und andern faserigen Kristallaggregaten ist ein gutes Beispiel dafür, daß solche Kraftäußerungen mit dem Kristallisationsvorgang verbunden sein und nicht unerhebliche Beträge erreichen können.

Neue Vorkommen von Salzmineralien.

Die zahlreichen neu bekannt gewordenen Vorkommen von Salzmineralien, von denen ja im vorhergehenden bereits eine Reihe Erwähnung fand, sollen hier nur gestreift werden. Von Interesse ist das ausgedehnte Vorkommen von Glauberit im Salzbergwerk von Hallstatt in Tirol. Der Glauberit bildet hier u. a. eine 5 bis 7 m mächtige Einlagerung in dunkelgrauem, feinkörnigem Anhydrit. Er ist wasserhell, gelegentlich durch Eisenoxyd hellgelb bis rotbraun, im allgemeinen sehr grobspätig (Kristalle bis 2 dcm und mehr), hier und da auch feinkörnig und läßt starke Druckwirkungen erkennen. Die vorhandene Masse beträgt nach Görgey viele hundert Kubikmeter. Ebenda finden sich dunkelrotbraune, grobkörnige Aggregate von Glauberit in durchschnittlich 2 cm mächtigen Lagen mit feinkörnigem, grauem Anhydrit wechsellagernd. Der Glauberit zusammen mit Polyhalit, Anhydrit und Steinsalz stellt einen besonderen Typus der Salzparagenese dar. Am meisten verbreitet auf alpinen Lagerstätten ist der Polyhalit; Loewit wird von Perneck bei Ischl, Hallstatt, Alt-Aussee bei Aussee, Dürnberg bei Hallein und von Hall genannt. Auch Astrakanit, Langbeinit und Vanthoffit wurden auf verschiedenen der genannten und auf andern alpinen Lagerstätten beobachtet. Über die Salzminerale von Hall macht Görgey ausführlichere Angaben. Interessant sind die beobachteten Paragenesen, so Polyhalit in Astrakanit oder Polyhalitfasern fortgesetzt durch Astrakanit, pegmatitähnliche Verwachsungen von Astrakanit und Langbeinit, Vanthoffit in Astrakanit und Loewit in Astrakanit. Es hat nach den genannten Salzen den Anschein, als ob neben Steinsalz die Sulfate in den alpinen Salzlagerstätten eine besondere Rolle spielen und einen ganz eigenen Lagerstättentypus hervorrufen. Es sei hier auf diese hochinteressanten Tatsachen mit Rücksicht auf ihre Einzigartigkeit wenigstens hingewiesen, obschon es sich um tertiäre Ablagerungen handelt.

Vanthoffit erwähnt K. Beck aus dem Feld der Gewerkschaft Burbach und aus dem Feld der Gewerkschaft Einigkeit ohne nähere Beschreibung. Das Mineral kommt in beiden Fällen im hangendsten Teil des Älteren Steinsalzes in unmittelbarer Nachbarschaft des älteren Kalilagers vor.

c) Die Beimengungen.

Nicht als selbständige Mineralien und Gesteine nimmt am Aufbau der Salzlagerstätten eine Reihe von Stoffen teil, die zwar nur in geringer prozentualer Menge erscheinen, nichtsdestoweniger aber wissenschaftlich und teilweise auch wirtschaftlich von Wichtigkeit sind. Es sind dies die Stoffe Brom und Jod, Ammoniak und Salpetersäure, sowie die Alkalien Lithium, Rubidium, Cäsium und Thallium.

Bromgehalt der Salze.

Zur Prüfung der Frage, wie das Brom in den Salzablagerungen verteilt ist, untersuchte H. E. Boeke ein vollständiges Salzprofil aus dem Berlepschschacht bei Staßfurt. Dieses Profil erstreckt sich über 187 m und war bereits von Rinne anlässlich anderer Untersuchungen mit Meterzahlen versehen. Es umfaßt vom Liegenden zum Hangenden die Anhydritregion (Meter 0—40), Polyhalitregion (Meter 40—90), Kieseritregion (Meter 90—140), Carnallitlager (Meter 140—155), Steinsalzmittel (Meter 155—175), Hartsalzlager (Meter 175—180), Carnallitlager (Meter 180—186) bis zum Salzton, also die gesamte ältere Salzfolge vom Staßfurter Typus. Die Untersuchung ergab etwa folgendes: Das Steinsalz der Anhydritregion ist bereits merklich bromhaltig (1 kg Brom in 3,5 cbm Salz). In der Polyhalitregion steigt der Bromgehalt etwas an. In der Kieseritregion erscheint ein merklicher, im einzelnen stark schwankender, aber im ganzen nach dem Hangenden zu steigender Carnallitgehalt. Gleichzeitig mit diesem Carnallitgehalt nimmt der Bromgehalt zu, und zwar paßt er sich vollkommen dem Steigen und Fallen jenes an. Der Carnallit der Kieseritregion zeigt stets etwas höheren Bromgehalt als der Carnallit der eigentlichen Carnallitregion. In dem der Carnallitregion eingelagerten Steinsalzmittel ist der Bromgehalt wieder geringer als in dem Carnallit, nur in einer sylvinreichen Zone (ca. 8 % Sylvin) erreicht er etwas höheren Wert. Im Hartsalzlager zwischen 175 und 180 m bleibt der Bromgehalt etwa gleich dem der vorigen Schicht, er steigt wieder erheblich in dem unter dem Salzton liegenden jüngeren Carnallit, erreicht aber nicht mehr dieselbe Höhe wie in dem tiefer gelegenen älteren. Am deutlichsten wird die Anpassung des Bromgehalts an die Carnallitführung in der Boekes Arbeit entnommen graphischen Darstellung (Abb. 32).

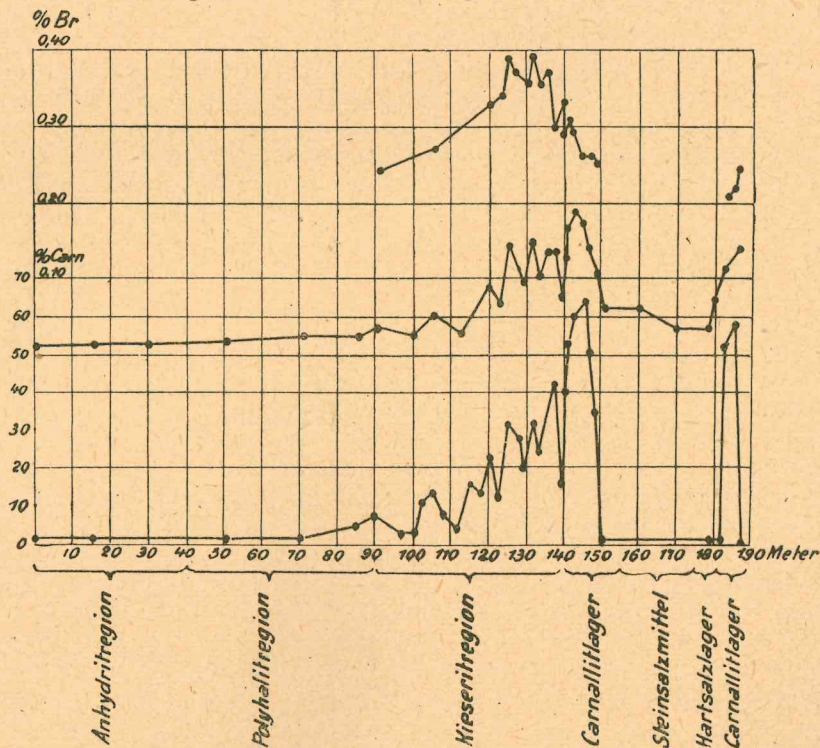


Abb. 32. Carnallitkurve (unten), Bromkurve (Mitte), Brom auf 100 g Carnallit (oben) im Profil des Berlepsch-Schachtes. Nach Boeke.

Ganz analog war das Ergebnis der Untersuchung eines Profils vom Hangenden des Älteren bis zum Liegenden des jüngeren Steinsalzes im Kaliwerk Salzdettfurth.

Schließlich hat Boeke, um die Verteilung des Broms in horizontaler Richtung zu prüfen, eine Anzahl Salzproben, vorwiegend Carnallit, aber auch Sylvinit aus Sylvinit und Hartsalz, von einer Anzahl weit auseinanderliegender Bergwerke im deutschen Kalisalzgebiet untersucht mit dem Ergebnis, daß ein zentraler Bezirk, dem die Werke Beendorf, Ehmen, Salzdettfurth, Eime, Alfeld, Freden angehören, mit relativ hohem Bromgehalt umgeben ist von einer peripheren Zone mit im allgemeinen niedrigerem Bromgehalt.

Die oben festgestellte Proportionalität zwischen Bromgehalt und Carnallitführung der Salzlager findet ihre Erklärung in der von Feit¹⁾ und später von de Schulten²⁾ bereits nachgewiesenen Existenz eines dem Carnallit entsprechend zusammengesetzten Bromcarnallits $[\text{KBr} \cdot \text{MgBr}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$. Die synthetische Untersuchung des Systems Carnallit — Bromcarnallit — Wasser durch Boeke führte nun zu dem Ergebnis, daß die Lösungen der beiden Salze Carnallit und Bromcarnallit sich in allen möglichen Mengenverhältnissen mischen und in einer ununterbrochenen Reihe von Mischkristallen auskristallisieren können. Aber es liegt nicht der einfache Fall vor, wo Einzelkomponenten und Mischkristall auch in ihrer Kristallform übereinstimmen und eine „isomorphe“ Mischungsreihe bilden, die Mischkristalle der beiden Salze treten vielmehr in drei verschiedenen Modifikationen auf, die je eine isomorphe Reihe bilden, und wir haben den sehr seltenen Fall einer „isotrimorphen“ Mischungsreihe vor uns. Demgemäß kristallisieren Mischkristalle mit 0 bis 12,2 Mol.-Proz. Bromcarnallit rhombisch-pseudo-hexagonal, solche mit 12,2 bis 85 Mol.-Proz. tetragonal und solche mit 85 bis 100 Mol.-Proz. rhombisch-pseudotetragonal.

Boeke untersuchte auch die Gleichgewichte $\text{MgCl}_2 - \text{MgBr}_2 - \text{H}_2\text{O}$ und $\text{KCl} - \text{KBr} - \text{H}_2\text{O}$ bei 25°. Auch diese beiden Systeme bilden je eine lückenlose isomorphe Mischungsreihe, das zweite entgegen den Angaben von Fock, der nur Mischkristalle mit 0 bis 92 Mol.-Proz. KBr fand, während aus KCl-armen Lösungen sich reines KBr ausscheiden sollte. Aus der Untersuchung des Gleichgewichts von Carnallit- bzw. Bromcarnallit-Mischkristallen und Lösung mit Mischkristallen von Kaliumchlorid und -bromid endlich zeigte sich, daß die Gegenwart von Magnesiumhalogenid die Aufnahmefähigkeit des Chlorkaliums für Brom bedeutend erhöht, daß also das Brom keineswegs immer an Magnesium gebunden sein muß, ein Ergebnis, das den höheren Bromgehalt im Carnallit der Kieseritregion aufs beste erklärt.

Eine Prüfung des Systems $\text{NaCl} - \text{NaBr} - \text{H}_2\text{O}$ ergab, daß die Aufnahmefähigkeit des Chlornatriums für Brom in fester Lösung außerordentlich gering ist. Ebenso wurde der Einfluß einer Sättigung an NaCl auf den Bromgehalt der Chlorkalium- und der Carnallitmischkristalle für niedrigen Bromgehalt in der Lösung — Verhältnisse, wie wir sie in der Natur vor uns haben — als sehr gering befunden. Hoher Magnesiumgehalt in der Lösung vergrößert ebenso wie beim Chlorkalium auch beim Chlornatrium die Aufnahmefähigkeit für Chlor. Sie bleibt allerdings auch dann stets gering.

Nach den Kristallisationsversuchen ist der Bromgehalt in den sich ausscheidenden Kristallen kleiner als in der koexistierenden Lösung, derselbe muß sich somit in der Lauge bei fortschreitender Kristallisation anreichern und entsprechend in den Kristallen stetig zunehmen, je später sie sich ausscheiden. Tatsächlich beobachten wir aber ein Maximum des Bromgehalts im Carnallit, eine ständige Bromzunahme nach dem Hangenden tritt nicht ein. Boeke erklärt

1) Journ. f. prakt. Chemie (Neue Folge) **39**, 373 (1889).

2) Bull. Soc. Chimie **17**, 167 (1897). (Z. f. Kr. **31**, 179.)

dies damit, daß Magnesiumbromidlösungen bei höherer Temperatur Bromwasserstoff abspalten, der vom atmosphärischen Sauerstoff unter Bromverlust oxydiert werden kann. In solchem Falle könnte der Bromgehalt einer natürlichen Mutterlauge nicht über eine bestimmte Grenze hinaus zunehmen.

Jodgehalt der Salze.

Neuere Feststellungen über den Jodgehalt von Salzablagerungen, der ja von vornherein zu erwarten wäre, da das Meerwasser 2,25 bis 2,38 mg Jod im Liter enthält (Gautier), verdanken wir E. Erdmann und K. Kraze sowie L. W. Winkler. Erdmann und Kraze zogen außer deutschen Vorkommen je drei Salzproben aus Galizien und aus Frankreich in den Kreis ihrer Untersuchungen. Ihr Ergebnis vermitteln am schnellsten die von Erdmann aufgestellten Tabellen, von denen die erste sämtliche Untersuchungsergebnisse, die zweite lediglich die positiven Befunde enthält.

Salzmineral	mg Jod gefunden in		Bemerkungen
	1 kg	10 kg	
Carnallit von Kalusz	0	0	Zur Analyse wurden an Stelle von 10 kg 20 kg des Salzes angewandt und darin 3,4 mg Jod gefunden.
Kainit von Kalusz	0,9	8,7	
Steinsalz von Kossow	0,25	1,7	
Carnallit von Neu-Staßfurt	0	0	1 kg Brom Eisen entspricht mindestens 100 kg Carnallit
Brom Eisen in Neu-Staßfurt	0	—	
Hartsalz von Bleicherode	0	0,1	Sylvin und Kieserit wurden nicht gesondert.
Sylvin des Hartsalzlagers von Neu-Staßfurt	—	0,42	Nur 4 kg untersucht. Die Zahl ist für 10 kg umgerechnet. } Nur 10 kg geprüft.
Kieserit des Hartsalzlagers von Neu-Staßfurt	—	0	
Salzton von Carlsfund	—	0	
Jüngeres Steinsalz von Neu-Staßfurt	—	0,075	
Seesalz von Berre	0,083	—	Der bei Verarbeitung von 10 kg erhaltene Niederschlag Pd ₂ wurde nicht gewogen.
Sels mixtes von Berre	0	mehr als 1,03	—
Steinsalz von Varangéville	0	—	Nur 1 kg untersucht.

Salzmineral	mg Jod gefunden in 10 kg
Kainit von Kalusz	8,7
Steinsalz von Kossow	1,7
Hartsalz von Bleicherode	0,1
Sylvin des Hartsalzes von Neu-Staßfurt	0,42
Jüngeres Steinsalz von Neu-Staßfurt	0,075
Seesalz von Berre	0,83
Salz mixtes von Berre	mehr als 1,03

Winkler prüfte eine große Anzahl von Staßfurter Sylvin- und Carnallitproben sowie zahlreiche Sylvine und Carnallite verschiedener Fundorte auf Jod, und zwar benutzte er im ersten Fall je 1000, im letzteren je 50 g Salz zur Untersuchung. Dort fand er in mehreren Proben Jod, z. T. in nicht unerheb-

lichen Mengen, hier fielen die Untersuchungsergebnisse durchweg negativ aus. Die positiven Befunde waren folgende:

Sylvin, farblose Kristalle (Merck)	23,7 mg Jod in 1000 g
„ krist., blaßrötlichgelb (Merck)	13,1 „ „ „ „ „
„ kristallin, gelbrot (Merck)	73,1 „ „ „ „ „
Carnallit, kristallin (gelblich Sammlung d. Inst.)	5,0 „ „ „ „ „
„ grau (Merck)	4,5 „ „ „ „ „
„ farblos (Merck)	1,5 „ „ „ „ „

Die Ursache dafür, daß in der zweiten Versuchsreihe Winkler in keinem der untersuchten Salze Jod fand, liegt nach Erdmann z. T. an der unzureichenden Untersuchungsmethode, vor allem aber an der viel zu geringen Einwaage, nicht 50 g, sondern mehrere kg, am besten 10 kg, müßten der Untersuchung zugrunde gelegt werden. Aus den verschiedentlichen Untersuchungen geht jedenfalls hervor, daß einzelne Salze Jod, wenn auch in sehr geringen Mengen, enthalten, andere dagegen jodfrei sind. Eine Differenzierung nach der Salzart scheint insofern zu bestehen, daß Carnallit im allgemeinen jodfrei oder doch sehr jodarm, daß dagegen ein geringer Jodgehalt häufiger an Sylvin und an sylvinhaltige Salze gebunden ist. Einzelne Salzlager sind jodreicher als andere, so Kalusz und Kossow in Galizien. In den deutschen Vorkommnissen bleibt nach Erdmanns Ergebnissen der Jodgehalt wesentlich hinter dem rezenter Meerwassersalze zurück, nach denen Winklers würde er diesen gelegentlich aber recht beträchtlich überschreiten.

Boeke stellte auch Untersuchungen darüber an, ob ebenso wie Brom auch Jod die Fähigkeit besitzt, Chlor in den betreffenden Natrium-, Kalium- und Magnesiumsalzen isomorph zu vertreten. Er prüfte die Systeme $KCl - KJ$, Carnallit-Jodcarnallit, $MgCl_2 \cdot 6H_2O - MgJ_2 \cdot 6H_2O$, $NaCl - NaJ$, ferner Tachhydrit mit Jodid und Kainit mit Jodid bei 25° und fand in keinem Fall Mischkristallbildung. Wo in den ausgeschiedenen Kristallen minimaler Jodgehalt gefunden wurde, lagen diese Mengen stets innerhalb der Versuchsfehlergrenzen. Boeke kommt zu dem Schluß, daß Jod in den zur Ablagerung gekommenen Salzen fehlt. Wenn das Zechsteinmeer jodhaltig war, so müßte sich das Jod in den Laugeneinschlüssen und Restlaugen finden. Aber auch diese Möglichkeit bezweifelt Boeke. Eine natürliche Restlauge von Aschersleben enthielt kein Jod. Boeke versetzte 500 g Lauge mit 0,1% Jod in Form von zuvor von freiem Jod gereinigtem Magnesiumjodid unter Zufügung von Stärke. In flacher Schale der freien Luft ausgesetzt, wurde die Lösung nach zwei Stunden blau, beim Erhitzen verschwand die Farbe und kehrte beim Abkühlen wieder, rührte also von freiem Jod her. Das ursprüngliche Jodid zersetzte sich, wohl infolge eines Eisenoxydulgehalts der Lauge, rasch an der Luft, freies Jod entstand, das durch Verdunstung allmählich verloren ging. Ganz analog, so schließt Boeke, müßten sich jodidhaltige natürliche Endlaugen verhalten, das Jodid müßte sich zersetzen, das freie Jod verdunsten. Teilweise trat dieser Vorgang auch beim Bromid auf, und Boeke möchte das von Precht im Salztone gefundene Magnesiumhydrat durch Zersetzung von Magnesiumbromid und -jodid erklären.

Daß diese Auffassung Boekes über das Fehlen von Jod auch in Restlaugen nicht allgemein zutrifft, beweisen Untersuchungen von Koelichen und von L. W. Winkler. Der von ersterem untersuchte Laugenausfluß im Salzlager der Gewerkschaft Friedrich Franz zu Lübtheen hatte nachstehende Zusammensetzung:

KCl	11,9 g im Liter	Br	3,46 g im Liter
CaO	0,27 „ „ „	J	0,00270 „ „ „
MgO	174,8 „ „ „	SO ₃	18,25 „ „ „
FeO	0,75 „ „ „	B ₂ O ₃	3,6 „ „ „
Cl	297,2 „ „ „		

demnach also 2,75 mg Jod im Liter. Qualitativ wurden auch Lithium und Eisen nachgewiesen. Im benachbarten Hartsalz, von dem 10 kg zur Prüfung verwandt wurden, ließ sich ein Jodgehalt nicht feststellen. Winkler wies Jod in mehreren Urtaugen nach, und zwar in:

„Urlaue Revier Staßfurt“	1,8 mg Jod in 1000 ccm,
„Urlaue Revier Hainleite“	2,2 „ „ „ „ „
„Urlaue aus Mecklenburg“	17,0 „ „ „ „ „

Das Jod ist angeblich als Jodid vorhanden. Jedenfalls ist nach diesen Ergebnissen in den natürlichen Resttaugen („Urtaugen“) zum Teil, und zwar anscheinend zum größeren Teil, mit einem Jodgehalt zu rechnen.

Ammoniakgehalt der Salze.

In gleicher Weise wie Boeke die Verbreitung des Broms in den deutschen Kalisalzen verfolgte, prüften W. Biltz und E. Marcus die des Ammoniaks. Sie bezogen ihre Untersuchungen auf dasselbe Profil im Berlepschschacht — sie ermöglichten so einen einwandfreien Vergleich der beiderseitigen Resultate — sowie auf ein Profil im Kaliwerk Hercynia bei Vienenburg. Der Ammoniakgehalt im ersten Profil erwies sich als stark wechselnd, folgte aber ebenso wie das Brom in deutlichster Weise dem Carnallitgehalt. Das Ältere Steinsalz war ammoniakfrei, nicht aber die Anhydritschnüre darin, deren Prüfung denn auch einen Carnallitgehalt ergab. In ihnen laufen Ammoniak- und Kaligehalt einander ausgesprochen parallel. Das erste Maximum (0,360 bis 0,450 mg in 10 g) erreichte Ammoniak im Carnallit (140 bis 155 m), fiel darauf im Steinsalzmittel und im Hartsalz fast auf Null, um im Hangenden des Carnallitlagers (180 bis 186 m) auf ein zweites, höheres Maximum (0,535 bis 0,770 mg) zu steigen. Auch der dort angereicherte Sylvin war stark ammoniakhaltig (0,610 mg), desgleichen die stark mit Carnallit durchsetzten Salztone. Hier entsprach einem deutlichen Ammoniakmaximum auch ein Carnallitmaximum. Im Hauptanhydrit und im jüngeren Steinsalz war der Ammoniakgehalt unbedeutend.

Ein entsprechendes Bild bot die Verbreitung von Ammoniak auf Hercynia. Auch hier waren beträchtliche Ammoniakmengen an die carnallitführenden Lagen und an den hier bituminösen Salzen (0,094 mg in 10 g) geknüpft. Die jüngeren Carnallite (0,169 mg) erwiesen sich als ammoniakärmer als die Älteren (0,682 mg).

Diese Ergebnisse legten die Vermutung nahe, daß auch der Ammoniakgehalt in einem Ammoniumcarnallit $[(\text{NH}_4)\text{Cl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ zu suchen sei. Biltz und Marcus untersuchten daraufhin die Bildungsbedingungen und die Mischbarkeit dieses und bestimmten seine Existenzgrenzen gegen Kaliumchlorid, Ammoniumchlorid und Magnesiumchlorid. Sie fanden u. a., daß auch das System Carnallit—Ammoniumcarnallit eine isotrimorphe Mischungsreihe darstellt. So erklärt sich auch hier die natürliche Anreicherung an Ammoniak im Carnallit und Sylvin sehr schön, während umgekehrt dessen Fehlen im Steinsalzlager mit der bereits früher nachgewiesenen Unfähigkeit des Natriumchlorids zur Aufnahme von Ammoniumchlorid in Einklang steht.

Nitrit und Nitrat in den Salzen.

Biltz und Marcus prüften zahlreiche der untersuchten Proben auch auf Nitrit und auf Nitrat. Nitrit fehlte durchweg. Ein Nitratgehalt wurde nur in den beiden Salztönen mit maximalem Ammoniakgehalt aus dem Staßfurter Lager und in dem bituminösen Salzen von Vienenburg nachgewiesen. Die mittleren Salztönschichten mit Nitratgehalt sind dieselben, in denen E. Zimmermann Versteinerungen fand, und die beiden Autoren halten es nicht für unmöglich, daß wir im Nitrat Reste organischen Lebens zu erblicken haben, und daß aus dessen

Fehlen anderorts auf die Sterilität der betreffenden Ablagerungen geschlossen werden kann.

Rubidiumgehalt der Salze.

Dem Rubidium haben neuerdings E. Wilke-Dörfurt und G. Heyne ihr Interesse zugewandt und sind dabei zu recht bemerkenswerten Ergebnissen gelangt. Sie untersuchten Salze der Kaliwerke Aschersleben auf Rubidium und fanden in ihnen eine deutliche Abnahme des Verhältnisses von Rubidium zu Kalium bzw. des von Rubidiumchlorid zu Carnallit vom Liegenden zum Hangenden. Während der Rubidiumgehalt im liegenden Carnallit 0,035% RbCl betrug, war er in der Mitte des Lagers 0,028% und sank im Hangenden unter die Grenze der Bestimmbarkeit, die durch den Spektralapparat gegeben war. In den aus dem Berlepschschacht (Normalprofil) untersuchten Salzen ließ sich eine Gesetzmäßigkeit in der Verteilung des Rubidiums weniger deutlich erkennen, doch besteht angeblich auch hier im großen ganzen eine Abnahme nach dem Hangenden. Arm waren die bankigen Carnallite in der Polyhalitregion, besonders reich, ja der reichste Teil des ganzen Lagers überhaupt, ein Carnallit aus der Kieseritregion (RbCl = 0,035% des Carnallitgehalts), die folgenden Carnallite bis zum Steinsalzmittel wurden zunehmend ärmer nach dem Hangenden, über jenem wurde noch einmal ein höherer Gehalt (0,033%) RbCl festgestellt, im übrigen lag er bei 0,027% und darunter. Heyne führt als allgemeine Gesetzmäßigkeiten an, daß Rubidium nur in solchen primären Kalisalzen in bemerkenswerter Menge zu erwarten sei, in denen es das Kalium isomorph vertreten kann, während solches für sekundäre nur so weit der Fall sein werde, als sie aus bereits rubidiumhaltigen Salzgesteinen hervorgegangen seien. In den Carnalliten sei, da der Rubidiumcarnallit schwerer löslich ist als der Kaliumcarnallit, eine Zunahme des Rubidiumgehalts nach den Liegenden hin sowie eine Anreicherung in sekundär gebildeten Carnalliten zu erwarten. In primär gebildetem Sylvin dagegen müßte, da Rubidiumchlorid leichter löslich ist als Kaliumchlorid, die Anreicherung in den höheren Schichten liegen bzw. bei stattgehabter Umkristallisation in den Neubildungen ein Verarmen oder gar Fehlen von Rubidium eintreten. In Kainiten sei ein Rubidiumgehalt nicht zu erwarten, da nach synthetischen Versuchen das Rubidium ebensowenig wie Brom und Ammonium Mischkristalle mit dem Kainit bildet. Dagegen sei im Schoenit ein solcher wieder möglich, da mit dem Kalisalz isomorphes Rubidiumsals bekannt ist. Gleiches gelte für Langbeinit. Ob die weitgehenden Erwartungen, die Heyne bezüglich des praktischen Wertes der Kenntnis des Rubidiumgehalts z. B. für Aufschlüsse über den Bau des Lagers, Eingliederung gestörter Schichten, Entscheidung über primäre und sekundäre Entstehung usw. sich erfüllen, bleibt abzuwarten. Jedenfalls bedarf es hierzu wohl noch einer Sicherung der vorläufig unzweifelhaft interessanten Resultate und der Schaffung einer breiteren Grundlage. Alsdann dürften derartige Untersuchungen im Verein mit andern wertvolle Dienste leisten.

Heliumgehalt der Salze.

Helium und Uran wies R. J. Strutt in verschiedenen Staßfurter Salzen in nachstehenden Mengen nach:

	cmm He in 100 g	g U ₃ O ₈ in 100 g
Steinsalz	0,0233	7,1 × 10 ⁻⁸
Sylvin	0,55	2,15 × 10 ⁻⁸
Carnallit	0,151	3,23 × 10 ⁻⁸
Kieserit	0,0179	6,47 × 10 ⁻⁸

Kainit, Krugit, Astrakanit, Langbeinit, Polyhalit, Schoenit, Tachhydrit enthielten eine verhältnismäßig viel kleinere Menge Helium. Der hohe Heliumgehalt von

Sylvin und Carnallit kann nicht vom Uran herrühren, er ist wahrscheinlich aus dem Kalium entstanden.

Erhebliche Mengen Helium fand E. Erdmann in Gasausströmungen der Kalisalzlager, nämlich mindestens 0,17 Volumprozent Helium in Gasen, die dem Carnallit des Anhaltischen Salzwerks Leopoldshall entströmten, und sogar 0,344 % in einer Gasprobe aus dem Kaliwerk Burbach.

S. Valentiner untersuchte blaues Steinsalz von Wilhelmshall zu Anderbeck auf Helium und fand in 1200 g ungefähr 1,5 cmm oder auf 100 g 0,13 cmm, also einen 5- bis 6fach höheren Gehalt als Strutt, hält aber den von ihm ermittelten Wert eher für zu klein als für zu groß.

III. Gemengte Salzgesteine.

Benennung der Salzgesteine.

In der Natur treten jedoch Salzgesteine, die in ihrer Zusammensetzung einem einzelnen der genannten Salzminerale entsprechen, d. h. sog. einfache Salzgesteine, stark in den Hintergrund gegenüber mehr oder minder innig miteinander verschmolzenen Mineralgemengen in verschiedenster Kombination, d. h. gegenüber sog. gemengten Salzgesteinen. Und gerade für die Kenntnis dieser gemengten Salzgesteine oder Gemengesalze haben die obengenannten petrographisch-mikroskopischen Untersuchungsmethoden unschätzbare Dienste geleistet. Und diese Kenntnis war von besonderem Wert, denn für die technische Verwertung waren Salzgesteine dieser Art nicht weniger wichtig als die einfachen von der Zusammensetzung der Salzmineralien. Die Technik hat daher in einzelnen Fällen den Namen desjenigen Gesteinsbestandteils, der für sie ausschließlich oder vorwiegend von Wert war, auf das ganze Gestein übertragen und hat z. B. von einem Carnallit gesprochen, auch wo neben dem Carnallit Steinsalz und Kieserit sich an der Zusammensetzung beteiligten, oder sie hat in Anlehnung an den Mineralnamen diesen in einfacher Weise verändert, wie z. B. Sylvin in Sylvinit, um ein Gemenge von Steinsalz und Sylvin zu kennzeichnen, oder schließlich neue, auf bestimmte Eigenschaften des betreffenden Gesteins gegründete Bezeichnungen geschaffen, wie z. B. Hartsalz für ein Gemenge von Sylvin, Steinsalz und Kieserit oder Sylvin, Steinsalz und Anhydrit. H. Everding hat dann bekanntlich vorgeschlagen, in ähnlicher Weise wie die Gemenge Sylvin—Steinsalz und Sylvin—Steinsalz—Kieserit, so auch die Gemenge Carnallit—Steinsalz und Carnallit—Steinsalz—Kieserit durch besondere Namen voneinander zu unterscheiden und ersteres als Carnallitit, letzteres aber als Hauptsalz zu bezeichnen, sowie für das Kainitgestein den Namen Kainitit einzuführen. Aber auch so sind diese wenigen Namen ganz außerstande, die Mannigfaltigkeit der Gemenge in den verschiedensten Mengenverhältnissen und Kombinationen, die uns in der Natur entgegentritt und die bei einer wissenschaftlichen Untersuchung auch kurzer prägnanter Benennungen bedarf, wiederzugeben. So ist denn von F. Rinne der einleuchtende Vorschlag gemacht worden, in der Bezeichnung der Salzgesteine ihre mineralogische Zusammensetzung zum Ausdruck zu bringen in der Weise, daß das Hauptmineral im Gestein den Grundstock des Namens liefert, während der Mineralname eines mehr zurücktretenden zweiten Bestandteils diesem einfach vorgesetzt und ein etwa vorhandenes, quantitativ an dritter Stelle stehendes Mineral als Adjektiv dem gebildeten Gesteinsnamen beigefügt oder auch ihm einfach vorangestellt wird. Da in der Regel mehr als drei wesentliche Gemengteile nicht auftreten, bietet die Anwendung dieses Prinzips keinerlei Schwierigkeit. So bezeichnet z. B. Halitcarnallit ein Gestein aus Carnallit + Steinsalz, kieseritischer Halitcarnallit oder Kieserithalitcarnallit ein solches aus Carnallit + Steinsalz + Kieserit, und der Unterschied zwischen Halitsylvin oder

Halitosylvin, Sylvinhalit, kieseritischem Sylvinhalit und anhydritischem Sylvinhalit oder auch Bezeichnungen wie anhydritischer Carnallit — Kieserithalit, tachhydritführender Kieserithaliticarnallit sind ohne weiteres verständlich. Daneben können die eingebürgerten technischen Namen wie Sylvinit, Hartsalz wohl bestehen bleiben, doch ist es zumal bei dem letzteren wünschenswert, zwischen Anhydrithartsalz, Kieserithartsalz und Anhydritkieserithartsalz zu unterscheiden, da das Kieserithartsalz besonders charakteristisch ist für den Staßfurter, das Anhydrithartsalz für den Südhärzer Kalibezirk, worauf Boeke s. Zt. aufmerksam gemacht hat.

Salzpetrographische Provinzen.

Die Petrographie der Eruptivgesteine hat zur Unterscheidung petrographischer Provinzen geführt, d. h. solcher Gebiete, die für sich gekennzeichnet sind durch einen bestimmten mineralogischen und chemischen Charakter der Gesteine. Innerhalb eines solchen Gebietes ist allen Gesteinen ein und dieselbe Eigenart mehr oder minder deutlich aufgeprägt, und man spricht daher auch wohl von der Verwandtschaft dieser Gesteine. Geographische und geologische Gesichtspunkte, Unterschiede im äußeren und inneren Bau des weiten Gebietes, in dem in Deutschland Zechsteinsalze zur Ablagerung gekommen sind, boten zunächst auch bei Betrachtung dieser Ablagerungen Anlaß zur Trennung in eine Anzahl Bezirke. Später, als die Salzlagerstätten genauer durchforscht wurden, ergaben sich dann auch mehr oder minder hervortretende Verschiedenheiten im Charakter sowie in der Paragenese der Salzgesteine, und man sprach dann, in Analogie mit den petrographischen Provinzen der Eruptivgesteine, auch von salzpetrographischen Provinzen und unterschied als solche, zunächst in enger Anlehnung an die geologische Einteilung, den Bezirk der Magdeburg-Halberstädter Mulde zwischen Harz und Flechtinger Höhenzug, den Südhärzbezirk zwischen Harz und Thüringer Wald, den Werra- und Fuldabezirk zwischen Thüringer Wald und Vogelsberg etwa, sowie den Hannoverschen oder Niederdeutschen Bezirk nördlich des Harzes. Auch spricht man wohl von einem Staßfurter Typus, einem Südhärztypus, einem Werratypus und einem Hannoverschen Typus der Salzablagerungen. Allein bei den Eruptivgesteinen liegen die Verwandtschaftsbeziehungen doch ungleich tiefer als bei den Salzgesteinen, sie gehen dort zurück in eine Entwicklungsperiode, die weit vor dem Zeitpunkt liegt, wo das Gestein zum erstenmal als solches in Erscheinung trat, während sie hier zum großen Teil eine Folge sind von Umbildungen und Einflüssen, die das ursprünglich mehr oder minder gleichmäßige Salzgestein betrafen. Versuchen wir, soweit dies heute möglich ist, gewisse Merkmale der obengenannten Provinzen zusammenzustellen, so ergibt sich etwa folgendes Bild:

1. Bezirk der Magdeburg-Halberstädter Mulde (Staßfurter Typus).

Sieht man in den am längsten bekannten Staßfurter Salzablagerungen die Normalausbildung, so gliedert sich das ältere Steinsalz deutlich in Anhydrithalite (Anhydritzone), Polyhalithalite (Polyhalitzone) und Kieserithalite (Kieseritzone). Die Polyhalitzone führt bereits in geringem Umfange Kieserit, an ihrer Hangengrenze treten Nester von Sylvin und Spaltenausfüllungen von Carnallit auf, d. h. es bestehen Übergänge zwischen den verschiedenen Zonen. Die Kieseritregion gliedert Riedel vom Liegenden zum Hangenden in sylvinitischen Kieseritanhydritthalit (Normalprofil im Berlepschschacht 65 bis 82 m), anhydritischen Carnallithalit (82 bis 114 m), carnallitischen Kieserithalit (114 bis 125 m), kieseritischen Carnallithalit (125 bis 150 m). Darüber lagert sich in Wiederholung der Ausscheidungsfolge (ältere deszendente Salzfolge im Sinne Everdings) eine äußerst mannigfaltig zusammengesetzte Grenzzone (150 bis 161 m), die in ihrem ersten Teil durch hohen Kieseritgehalt neben Sylvin und Anhydrit sowie Spuren von

Carnallit, Loewit und Langbeinit, in ihrem zweiten Teil bei hohem Steinsalzgehalt (88 %) durch Sylvit, Loewit, Kieserit und Polyhalit neben Spuren von Carnallit, Langbeinit und Vanthoffit ausgezeichnet ist, auf welche Grenzzone dann eine Zone von Vanthoffthalit (161 bis 168 m), von Loewithalit (168 bis 173 m) und von Langbeinithalit (173 bis 179 m) folgen. In der folgenden Kieseritsylvinitzone (179 bis 182,5 m) sind Langbeinit, Loewit und Polyhalit verschwunden, der Steinsalzgehalt ist gesunken, Kieserit und Sylvit sind vorherrschende Gemengteile geworden. Eine Zone kieseritischen Halitcarnallits (182,5 bis 186 m) schließt die ältere Salzfolge. Dieses Profil ist hier deshalb so ausführlich mitgeteilt, weil es ein ausgezeichnetes Beispiel dafür ist, wie kompliziert eine bisher als einfach betrachtete Salzfolge sein kann.

Bezüglich der chemischen Änderung lassen sich nach Riedel im großen ganzen folgende Gesichtspunkte aufstellen: Zwischen 0 und 150 m Ansteigen des Mg-Gehalts, Abnahme des Ca-Gehalts, Abnahme des SO_4 -Gehalts, zwischen 150 und 182 m hoher Magnesiumsulfatgehalt gegenüber einem sehr niedrigen Ca-Gehalt.

Überlagert werden die genannten Schichten durch grauen Salzton, an den sich Hauptanhydrit und Jüngerer Steinsalz anschließen.

2. Südharzgebiet (Südharztypus).

In diesem Bezirk fehlt nach H. Precht eine eigentliche Polyhalitzone. Das Kalisalzager im Hangenden des Älteren Steinsalzes besteht anscheinend vorherrschend aus anhydritreichen Salzen, Anhydrit-Sylvinit bzw. Anhydrit-Halitosylvit (anhydritischen Hartsalzen), im Gegensatz zu den kieseritischen analogen Gesteinen des Staßfurter Typus. In Verbindung mit ihnen stehen Carnallitgesteine in konglomeratartiger Entwicklung (sog. Konglomeratcarnallite oder Gemegecarnallite [Lachmann] oder Trümmercarnallite [Naumann]). Chemisch äußert sich diese Tatsache im Fehlen oder starken Zurücktreten des Mg-Gehaltes (vgl. Gesteine von Wolframshausen S. 98). In den liegenden Partien stellte jedoch M. Naumann auch Kieserithalit fest (Glückauf Sondershausen). Nach Everding ist der Carnallit hier durchschnittlich etwas stärker kalihaltig als in der Staßfurter (Unterschied 1 bis 2 %).

In der Mansfelder Mulde fehlt nach Brunnhöver die Zone der Kieserithalite, aber auch hier ist Kieserit keineswegs ganz fremd. Bemerkenswert ist hier außerdem die Tachhydritführung.

3. Werra- und Fuldagebiet (Werratypus).

An Stelle des einen treten hier regelmäßig zwei Kalilager im Älteren Steinsalz auf, Kieseritsylvinit, stellenweise Halitosylvine, daneben konglomeratische Kieserithalitcarnallite, gelegentlich nesterförmig einfache Carnallitgesteine; ein dem Halitcarnallit des unteren Kalilagers gelegentlich eigener beträchtlicher Sylvinitgehalt gab zur Bezeichnung als Sylvinitcarnallit Veranlassung. In ihrem Kieseritgehalt stimmen alle diese Gesteine wieder mit denen des Staßfurter Typus überein. Als Eigentümlichkeit sei auch ihre infolge Zurücktretens des rotfärbenden Eisenglanzes vorwiegend weiße Farbe erwähnt, ein Unterschied, der besonders bei den Hartsalzen im Vergleich mit denen des Südharzbezirkes hervortritt.

Ein wesentlicher Unterschied gegenüber dem Staßfurter Gebiet liegt in dem Ersatz des Hauptanhydrits durch den Plattendolomit.

4. Hannoverscher-Norddeutscher Bezirk (Hannoverscher Typus).

Neben einem älteren, dem Staßfurter entsprechenden Kalihorizont ist hier ein ebensolcher zweiter mit dem Jüngerer Steinsalz verknüpft. Im ersteren unterschied W. Berger vom Liegenden zum Hangenden acht Zonen: Anhydrit, Glauberithalit, kieseritischen Polyhalithalit, Polyhalithalit, Langbeinithalit, Kieserithalit, kieseritischen Sylvit und kieseritischen Carnallit. Von der jüngeren Salzfolge wird gewisse Übereinstimmung mit den Verhältnissen des Staßfurter

Lagers angegeben ohne genauere Durchführung des Vergleichs. Es wird eine Anhydritzone und eine Polyhalitzone, als Kalisalz Sylvinit (Sylvinhalit) erwähnt. In der Polyhalitzone scheinen sich auch Sylvin, Langbeinit und Vanthoffit sowie spurenweise Loewit zu finden.

Allgemein kommen aber nach einer Angabe Boekes auch kieseritfreie Sylvinhalite und Halitcarnallite vor, die im Staßfurter Bezirk fehlen.

Es unterliegt keinem Zweifel, daß diese Ergebnisse als endgültige nicht anzusprechen sind, wenn man die Tatsache berücksichtigt, daß die Zahl neuerer petrographisch-chemischer Untersuchungen noch nicht ein Dutzend erreicht. Eine schärfere Charakterisierung etwa vorhandener petrographischer Provinzen wird erst dann möglich sein, wenn eine große Zahl solcher Einzeluntersuchungen ein einigermaßen zusammenhängendes Bild gibt von der Salzfolge innerhalb einer Provinz, das dann einen Vergleich mit andern Provinzen ermöglicht. Hierin liegt eine wesentliche Aufgabe salzpetrographischer Forschung, von deren Lösung wir heute noch weit entfernt sind.

Die Ausbildungsweise der Salzgesteine ist, soviel können wir jedenfalls schon heute aussagen, eine äußerst mannigfaltige sowohl nach Art der Komponenten als auch nach deren Mengenverhältnis und nach ihrer Struktur, und man hatte bei ihrer Betrachtung bald erkannt, daß es sich in ihnen zum großen Teil nicht um die ursprünglichen Ablagerungen handeln könne, sondern daß Umbildungen (Metamorphosen) und abgeleitete Produkte (Deszendenzen) vorliegen müssen. Zur Erklärung dieser Mannigfaltigkeit mußten alle möglichen Annahmen herangezogen werden, solange die prinzipiellen Fragen über die Ursachen der Umbildung nicht gelöst waren, und dies ist erst in den letzten Jahren gelungen. Wir müssen jetzt unsere Erkenntnis dahin zu erweitern versuchen, daß wir den Charakter der ursprünglich abgelagerten Gesteine unterscheiden können von seiner nachträglichen Veränderung. Die Lösung dieser Aufgabe für die Salzgesteine ist nicht ohne Aussicht auf Erfolg, nachdem wir die dabei wirksamen Gesetze kennen und zahlreiche Tiefenaufschlüsse uns auch einen Anhalt für die in Betracht kommenden Mengen geben.

Struktur der Salzgesteine.

Die Struktur der Salzgesteine, obschon kaum je noch eine primäre, ist doch vorwiegend noch eine schichtige oder weist zum wenigsten noch vielfache Andeutungen einer solchen auf. Aber auch körnige Strukturen bilden keineswegs eine Seltenheit. Besonderes Interesse aber, gerade vermöge seiner Struktur, erweckte von je der sog. Konglomeratcarnallit (Everding) oder Gemengecarnallit (Lachmann) oder Trümmercarnallit (M. Naumann), dessen Struktur, wie schon der Name andeutet, an die konglomeratartige oder breccienhafte Struktur von Trümmersedimenten erinnert. Das Gestein ist in besonders charakteristischer Weise im Südharzbezirk entwickelt, wo es in Verbindung mit Sylvinhaliten (Hartsalzen) vorkommt. In einem carnallitisch zusammengesetzten Bindemittel sind für gewöhnlich wallnuß- bis kopfgroße geröllähnliche Bildungen von (anhydritischem) Sylvinhalit, Steinsalz, Kieserit, Anhydrit, auch wohl bankigem Halitcarnallit mehr oder minder gleichmäßig verteilt. An die Stelle der runden Gerölle treten in den Brecciencarnalliten kleine und große schollenförmige eckige Bruchstücke der genannten Art, oft deutlich geschichtet, sogar gefaltet, zuweilen durch ihre Form noch den früheren Zusammenhang miteinander verrätend. Dieses Gestein, in der erstgenannten Ausbildung einem sedimentären Konglomerat in der Tat auffallend ähnlich, ist bekanntlich von Everding denn auch als solches gedeutet worden und bildete eine wichtige Stütze für die Annahme einer weitgehenden Denudation und Umlagerung bereits zur Ablagerung gekommener Salzgesteine (Deszendenztheorie). Zunächst hat R. Lachmann gegen diese Auffassung Be-

denken geltend gemacht, so u. a. daß infolge von Erosion und Wassertransport die leicht löslichen Salze mehr oder weniger vollständig gelöst und infolgedessen eine prozentuale Zunahme der schwer löslichen, d. h. an Steinsalz und Anhydrit, eingetreten sein müßte. Dies ist nicht der Fall, wir finden Gerölle gerade dieser Salze verhältnismäßig selten. Ferner weist Lachmann darauf hin, daß die Konglomerate z. T. Blöcke von einer Größe enthalten, daß nur Wildbäche ihren Transport vollführt haben könnten. Lachmann selbst stellte sich die Geröllbildung zuerst als eine Art Konkretionen vor, entstanden in Untiefen unter dem Einfluß der Wasserbewegung, vergleichbar etwa den Sandbänken im Wattengebiet der Nordsee. Später sah er darin eine Folge stattgehabter Kainitschmelzung und Carnallitneubildung unter Aufzehrung von Chlormagnesiumlaugen, bei der die Struktur zum großen Teil zerstört wurde und sich „in der Grundmasse von Carnallit neben den Resten des zersprengten Steinsalzlagers (ursprünglich Zwischenlagerung im Kainit. Anm. d. Verf.) und Salztonstücken Konkretionen aus Steinsalz, Kieserit und Anhydrit“ bildeten. Lachmann führte für das Gestein den Namen Trümmercarnallit ein, da mit dem Begriff Konglomerat die Entstehung durch mechanischen Transport eingeschlossen ist. Sodann hat M. Naumann sich mit dem Gestein mehrfach beschäftigt. Ursprünglich kam Naumann auf Grund seiner Beobachtungen auf „Glückauf“ Sondershausen zu der Auffassung, daß zu der durch die Grenze von Hartsalz und Konglomeratcarnallit markierten Zeit ein Laugeneinbruch mit heftiger Brandung über ein vorhandenes Lager von Anhydrithartsalz mit aufgelagertem Carnallithalit erfolgte und dieses teils löste, teils zertrümmerte und aufwühlte. Die Lauge erhielt carnallitische Zusammensetzung, kristallisierte und wurde zum Bindemittel für die nicht der Auflösung anheimgefallenen Bruchstücke und Gerölle. Jedenfalls haben diese einen weiten Transport nicht erfahren, entstammen vielmehr einem zuvor an Ort und Stelle anstehenden Gestein. Später kam Naumann zu anderen Vorstellungen über die Bildung der Carnallite und des konglomeratischen im besonderen. Er hielt die Wiederauflösung und Abtragung ganzer Lagerstättenteile und ihre erneute Ausscheidung auf der Denudationsfläche in der Zechsteinzeit für ausgeschlossen. Er war vielmehr der Überzeugung, daß die Kristallisationsfolge allgemein von Anhydrit und anhydritischem Steinsalz zu einem Carnallitgestein führe, und daß, wo wir heute Hartsalze oder Sylvinit treffen, „Umwandlungen lange nach seiner Entstehung“ wirksam waren. Und bezüglich des konglomeratischen Carnallits: „die häufig festzustellende Tatsache, daß ein geschichtetes Carnallitlager an Stellen seiner größten tektonischen Beanspruchung ‚konglomeratisch‘ ausgebildet ist, beweist, daß das bisher recht problematische Gestein keinesfalls ein sedimentäres Konglomerat, sondern ein druckmetamorphes Gestein, eine Druckbreccie ist“. Naumann bezeichnet es, in der Absicht, die Genesis des Gesteins möglichst zum Ausdruck zu bringen, als Trümmercarnallit.

Dieses eine Beispiel zeigt aufs deutlichste, wie mannigfaltig die Annahmen waren, die zur Erklärung der Salzgesteine herangezogen werden konnten und herangezogen werden mußten, solange die physikalisch-chemischen Bedingungen nicht oder nur teilweise Berücksichtigung fanden. Dadurch erst konnte auch dem problematischen Trümmercarnallit, wie an späterer Stelle gezeigt werden soll, eine sichere Grundlage gegeben werden.

Vertaubungen.

An dieser Stelle sei auch der für den Bergbau so überaus bedeutungsvollen Vertaubungszonen gedacht, die in den Hartsalzlagerstätten des Südharz- sowie des Werragebietes auftreten und dadurch charakterisiert sind, daß ohne die geringste Änderung im Verlauf der Steinsalz-, Kieserit- bzw. Anhydritschichten des Lagers der Kaligehalt plötzlich verschwindet, um in gewisser Entfernung ebenso

plötzlich wiederzukehren. Diese Vertaubungszonen erstrecken sich auf wenige bis auf 100, ja selbst auf 200 m streichende Länge und scheinen ganz unregelmäßig begrenzt zu sein. Für wichtig halte ich die Beobachtung, daß der Kaligehalt in der Nähe solcher Vertaubungen in der Regel deutlich ansteigt. Die Anreicherung des Lagers gilt dem Bergmann geradezu als Anzeiger der zu erwartenden Vertaubung. Eine befriedigende Erklärung der Erscheinung ist trotz mehrfacher Versuche bis heute nicht gelungen. M. Naumann ist der Auffassung, daß die gewaltigen Durchtränkungsprozesse, die nach seiner Meinung den primären Carnallit z. T. ausgelaugt und die Hartsalzbildung bewirkt haben, auch die Vertaubungen herbeiführten, indem sie nicht nur das $MgCl_2$, sondern auch das KCl auslaugten. Sogar einen großen Teil des Steinsalzes im Liegenden des Trümmercarnallits möchte Naumann als ausgelaugten Carnallit deuten. R. Lachmann, der die Frage der Vertaubungen nur kurz berührt, unterscheidet die des Werragebietes und die des Südharzbezirkes als zwei grundsätzlich verschiedene Arten. Für jene mißt er der Beobachtung, daß einer Vertaubung im unteren Kalilager eine gleichzeitige Anreicherung im oberen entspricht, besondere Bedeutung bei, eine Bedeutung, die der Erscheinung auch zweifellos beizumessen wäre, wenn sie in der Tat eine allgemeine wäre. Der Erklärungsversuch Lachmanns freilich, daß eine Diffusion der Chlorkaliumlösungen durch das 50 bis 80 m mächtige mittlere Steinsalzlager erfolgt sei, ist nicht haltbar. Dagegen handelt es sich nach Lachmann im Südharzbezirk um flächenhafte Verschiebungen des Kaligehalts innerhalb des Lagers selbst. M. Rózsa nimmt an, daß der anhydritische Sylvinit (das anhydritische Hartsalz) des Südharzbezirkes entstanden sei aus kieseritischem Sylvinit (normalem Hartsalz) durch Einwirkung chlorcalciumhaltiger Laugen und letzterer wieder aus kieseritischem Halitcarnallit (Hauptsalz), und daß die Vertaubungen, die sich im Sylvinit durch Verschwinden des Sylvingehalts kundtun, bereits eingetreten seien im Halitcarnallit durch Auslaugen und seitliches Auspressen des Carnallits. O. Krull schließlich erklärt die Entstehung der Vertaubungen damit, „daß $NaCl$ -gesättigte Lösungen das Lager gewissermaßen gedeckt haben“. Der Einwand, der gegen alle diese Erklärungsversuche erhoben werden kann, besteht darin, daß sie sich nicht stützen auf spezielle Untersuchungen und eingehende Einzelbeobachtungen, sondern daß sie ganz und gar hypothetischer Natur sind. Falls die Erscheinung in einer örtlichen Auslaugung ihre Erklärung findet, so bleiben immer noch zahlreiche Fragen offen, so vor allem die nach den Ursachen solcher Auslaugungen überhaupt, ferner nach den Gründen ihrer räumlichen Beschränkung, ihrer wechselnden Ausdehnung, ihrer zum großen Teil scharflineigen Abgrenzung usw., Fragen, deren Beantwortung wir nur von eingehender künftiger Untersuchung erwarten dürfen.

„Stausalz“ und „Zerrsalz“.

Einen eigentümlichen Unterschied in der petrographischen Beschaffenheit des Salzes beobachtete E. Seidl am Steinsalz vom Graf-Moltke-Schacht bei Schönebeck a. d. Elbe, sodann aber in noch ausgesprochenerem Maße im Hanoverschen Bezirk und zwar hier auch an den Kalisalzen. Danach hängt die physikalisch-petrographische Beschaffenheit der Salzgesteine in hohem Maße von dem Grad tektonischer Beeinflussung ab, und zumal das Steinsalz ist vermöge seiner besonders hohen Plastizität diesen Einflüssen sehr unterworfen. Bei ihm genügen bereits geringe tektonische Kräfte, um es als plastische Masse auf Schwächelinien in die Höhe zu pressen, die hangenden Schichten zu „durchspießen“ und „Durchspießungsfalten und -rücken“ zu bilden. Das Salz erleidet hierbei eine wesentliche Differenzierung seiner Beschaffenheit, je nachdem es als „Stausalz“ den Kern der Falten bildet oder als „Zerrsalz“ in den Faltenchenkeln stecken geblieben ist. Jenes erweist sich infolge von Umkristallisation

als äußerst spröde, durchweg sehr grobkörnig, die Anhydritstreifen besitzen abnorm weite Abstände. Dieses dagegen ist äußerst zähe, eine verfilzte Masse gerstenkorngroßer, fluidal gestreckter Kristalle, durchzogen von dünnen dichtgedrängten Anhydritstreifen, zuweilen geschrammt. Im Hannoverschen Bezirk, wo die tek-

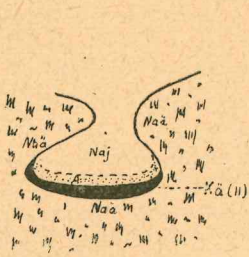


Abb. 33.
Typische Hartsalzvorkommen.
Tauchfalte.



Abb. 34.
Abgeschnürter Sattelkopf.
Nach Seidl.

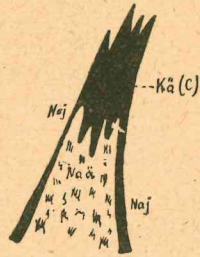


Abb. 35.
Typisches Gemenge-
Hauptsalzvorkommen.

tonischen Störungen ungleich stärker waren, wurde nicht allein das Steinsalz sondern auch die weniger plastischen Kalisalze von deren Wirkung betroffen, und hier führte diese infolge teilweiser Auflösung der Salze auch zu chemischer Umgestaltung, die sich heute in einer auffallenden Verteilung von Hartsalz (kieseritischem Sylvinit) und Gemengehauptsalz (kieseritischem Carnallithalit) äußert. Jenes kommt vor „in erster Linie in Tauchfalten, ferner in abgeschnürten Sattelköpfen, schließlich an scharfen Umbiegungen der Lagerstätte im Streichen“ (Abb. 33 u. 34), dieses in breit entwickelten Sattelköpfen (Abb. 35), an Schenkeln breit angelegter nicht überkippter Sättel, während schmale, stark ausgewalzte Schenkel eine Gesetzmäßigkeit im Auftreten bestimmter Salze nicht feststellen ließen. Abb. 36

gibt ein der Abhandlung Seidls entnommenes besonders charakteristisches Beispiel für diese Verteilung von Hartsalz (H) und Hauptsalz (C). Ihre Erklärung findet sie darin, daß aus dem aufgelösten Hauptsalz in Tauchfalten und Sattelköpfen ein Teil der Lauge abgepreßt wurde und Hartsalz auskristallisierte. Die abgepreßte Lauge findet sich vielfach eingeschlossen in den höheren Schichten, diese durchtränkend, oder in schlotenförmigen Hohlräumen. In der Kenntnis der Verteilung von Zerrsalz und Stausalz erblickt Seidl ein wichtiges Hilfsmittel zur Ermittlung des tektonischen Aufbaues und für die Aufschließung der in der Regel auf Sättel und Mulden beschränkten Edelsalze.

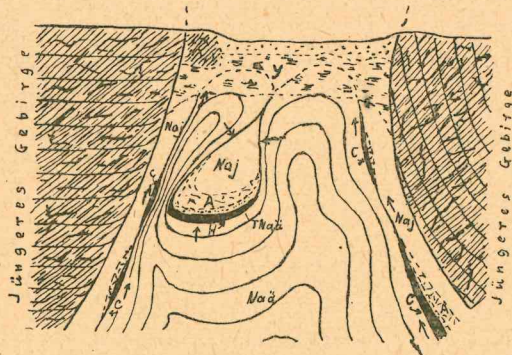


Abb. 36. Schema der Verteilung von Hartsalz und Gemenge-Hauptsalz. Nach Seidl.

Zeichenerklärung:
 Naä = Älteres Steinsalz Kä = Älteres Kalilager
 Naä = Jüngeres Steinsalz KJ = Jüngeres Kalilager
 TNaä = Grauer Salzton H = Hartsalz
 A = Hauptanhydrit C = Hauptsalz
 y = Residualbildungen im Salzth

Salzkontakt.

In der Petrographie ist die Einwirkung, die ein erstarrendes Eruptivgestein auf benachbarte Sedimente ausübt, lange bekannt und Gegenstand der Forschung.

Der „Kontakt Hof“, der einen Eruptivkörper wie eine Aureole umgibt, ist manchmal nur wenige Zentimeter breit, erstreckt sich aber oft auch auf viele Kilometer in die Sedimentschichten. Es hängt dies in erster Linie ab von dem Grad der Durchtränkung des flüssigen Magmas mit gasförmigen, flüchtigen Stoffen, sodann aber auch von der Temperatur des Magmas, von der Beschaffenheit des Nebengesteins und zuletzt vom Umfang des Eruptivkörpers. Erscheinungen, die sich mit den genannten vergleichen lassen, kennt man nun auch aus der Umgebung der Salzlagerstätten, insbesondere der in die Höhe gepreßten Salzstöcke Norddeutschlands. So hat sie Gagel z. B. vom Lüneburger Salzstock beschrieben, aber erst Harbort hat durch eine allgemeinere Betrachtung ein weiteres Interesse auf sie gelenkt. In Anlehnung an Harbort sei die Erscheinung hier etwas näher geschildert, die, genügend erforscht, m. E. zu wichtigen Schlüssen führen könnte. In der innersten Zone eines solchen Salzkontakts enthalten die randlichen Teile des Salzgebirges „kleinere und große bis kubikmetergroße, bald sporadisch eingesprengte, bald zu dichten Scharen gedrängte, meist eckig und scharf begrenzte Stücke“ derjenigen Gesteinsschichten, durch die das Salz emporgepreßt wurde. Daß weder die eingeschlossenen Gesteinsstücke noch die an den Salzstock anstoßenden Gesteine Merkmale intensiver Pressung, Verknetung oder dynamometamorpher Umkristallisation erkennen lassen, und daß jene auch nicht gerundet und ausgewalzt sondern eckig sind, ja daß die einzelnen Bruchstücke oft sogar aneinander passen, ist nicht verwunderlich, wenn wir bedenken, daß das Salz in plastischem, ja in flüssigem Zustand diese Aufwärtsbewegung vollzog. Um diese Breccienzone legt sich in der Regel ein Mantel von meist zuckerkörnigem bis dichtem Anhydrit („Mantelanhydrit“), dessen Vorhandensein bis zu 600 m Teufe festgestellt wurde. Aber auch weit über diese Mantelzone hinaus bis zu 1 km Breite ist auf Schichtflächen und Klüften Anhydrit vielfach ins Nebengestein eingedrungen und von porösen Gesteinen wie von einem Schwamm aufgesogen worden. Harbort hält diesen Anhydrit für eine sekundäre Bildung, d. h. für eine Ausscheidung aus Lösungen, die aus Tagewässern durch randliche Ablaugung des Salzstockes entstanden und dann auf den Schichtfugen und Klüftchen des Nebengesteins Anhydrit wieder ausschieden. M. E. spricht gegen diese Auffassung die Gleichmäßigkeit der Imprägnation, die schwere Löslichkeit des Calciumsulfats sowie die Tatsache, daß sich aus solchen Lösungen nicht Anhydrit sondern Gips hätte ausscheiden müssen, und ich möchte viel eher an ein Eindringen flüssigen Salzbreies aus dem emporgepreßten Salzkörper in das diesem Fremdling beträchtlichen Widerstand entgegengesetzte Gestein glauben, aus dem alsdann der Anhydrit auskristallisierte. Diese Auffassung wird auch durch die weiteren Beobachtungen Harborts gestützt. Die Nebengesteinsschichten, auch schwer durchlässige, sind, wie Harbort am Salzstock von Rolfsbüttel feststellte, auch noch in 1½ bis 5 km Entfernung vom Salzkörper und in Tiefen bis über 1000 m von Salz imprägniert. Der Salzgehalt nimmt im allgemeinen ab mit der Entfernung vom Salzstock, er erweist sich immer als stark abhängig von der Art des Gesteins. Daß das Salz nicht schon bei Ablagerung der Schichten in diesen enthalten war, zeigt seine Menge, seine Abnahme und sein Verschwinden mit der Entfernung vom Salzstock sowie die Tatsache, daß auch nicht marine Schichten imprägniert sind. In Anbetracht der schweren Durchlässigkeit der bei Rolfsbüttel imprägnierten Gesteine (Schiefertone) und des Fehlens jeglicher Grundwasserströmungen in diesen Gesteinen und Teufen sieht Harbort in einer ganz allmählichen Diffusion innerhalb der bergfeuchten Gesteine die Ursache für das Eindringen des Salzes in die Schichten. Wenn eine solche nun auch eine gewisse Rolle bei dem Vorgang gespielt haben mag, so kann diese doch keinesfalls ausreichen, um eine Imprägnierung auf 1½ bis 5 km zu bewirken, d. h. auf Entfernungen, wo wir selbst bei gewaltigen Eruptiv-

massen und bei Diffusion in Gasform Kontaktwirkungen kaum je wahrnehmen. Darauf, daß nicht ausschließlich Steinsalz das imprägnierende Material bildet, deuten bereits die Salzausblühungen auf der Oberfläche von Bohrkernen hin. Wenn die von Harbort mitgeteilten, an Material aus Bohrkernen ausgeführten Analysen nur noch Spuren von Magnesium enthalten, so dürfte dies darauf zurückzuführen sein, daß die Bohrungen mit Süßwasserspülung ausgeführt wurden, die leicht löslichen Kalisalze also durch Lösung entfernt sind. Jedenfalls wäre ein eingehenderes Studium dieser Kontakterscheinungen imstande, uns wertvolle Anhaltspunkte zu geben über die beim Aufpressen des Salzstocks wirksamen Bedingungen.

IV. Synthetische Untersuchungen.

Seitdem die klassischen Untersuchungen van't Hoff's und seiner Mitarbeiter die Fruchtbarkeit synthetischer Versuche für die Erkenntnis der Bildung unserer Salzlagerstätten dargetan haben, hat deren Zahl einen ganz beträchtlichen Umfang angenommen und zur Erweiterung unserer Kenntnis ganz erheblich beigetragen.

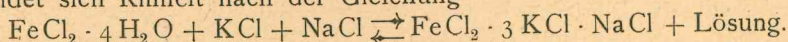
Graphische Darstellung der Löslichkeitsverhältnisse.

Um eine rasche und anschauliche Übersicht über die Löslichkeitsverhältnisse der verschiedenen Salze zu erzielen, hat bereits van't Hoff eine graphische Darstellung herangezogen. Während aber van't Hoff hierbei lediglich den qualitativen Charakter der Lösungen zum Ausdruck brachte, ist man inzwischen dazu übergegangen, die Verhältnisse auch quantitativ wiederzugeben, und während van't Hoff zur Darstellung dreier Komponenten bereits ein dreiachsiges, also räumliches Koordinatensystem benutzte, findet heute eine Methode allgemeine Anwendung, die die Darstellung dreier Größen in der Ebene und einer vierten unter Zuhilfenahme des Raumes gestattet. Diese Methode, die auf die van't Hoff'schen Untersuchungen zuerst von E. Jänecke angewandt wurde, benutzt ein gleichseitiges Dreieck, dessen Seitenlänge gleich 100 angenommen wird. Die Koordinaten eines beliebigen Punktes im Innern des Dreiecks laufen den Dreiecksseiten parallel, und die Summe ihrer Längen ist gleich der Seitenlänge, beträgt also gleichfalls 100. Demnach gelangen zur Darstellung: in den Ecken des Dreiecks Salze mit 100 % der einen und 0 % der beiden anderen Komponenten, auf den Seiten Salze aus zwei, im Innern Salze aus drei Komponenten, deren Summe in jedem Falle 100 ausmacht. In gleicher Weise wie die Darstellung der Zusammensetzung von Salzen kann auch die Darstellung des Prozentgehaltes in Lösungen geschehen, insbesondere derjenigen Mengenverhältnisse in solchen, die dem Zustand der Sättigung bei einer bestimmten Temperatur entsprechen, und die auf analytischem Wege ermittelt werden. Diese Sättigungswerte oder „Sättigungszahlen“ entsprechen Punkten, die die Existenzfelder der Salze bestimmen, in bezug auf welche in der Lösung bei der betreffenden Temperatur Sättigung herrschen kann. Und zwar liegen innerhalb eines solchen Existenzfeldes einer Verbindung alle Lösungen, in denen nur diese eine Verbindung, auf den Geraden zwischen zwei Existenzfeldern alle, in denen neben ihr noch eine zweite, und auf den Schnittpunkten dreier Existenzfelder die einzig mögliche Lösung, in der drei Verbindungen als Bodenkörper bestehen können. Ob diese Salze als Bodenkörper in der Tat auch bestehen, das hängt noch von der „Wasserzahl“ ab, d. h. von der Anzahl der vorhandenen Moleküle Wasser. Trage ich die gerade den Sättigungsverhältnissen entsprechenden Wasserzahlen auf den in allen zugehörigen Punkten errichteten Senkrechten auf, so erhalte ich ein räumliches Modell, dessen Oberfläche nun gebildet wird von den tatsächlichen Sättigungsflächen (Existenzfeldern) der einzelnen Salze. Je

zwei dieser Flächen schneiden sich in einer Kurve, je drei in einem Punkt. Auf jener liegen alle Lösungen, in denen zwei, auf diesem die einzig mögliche Lösung, in der drei Bodenkörper nebeneinander in der Tat vorhanden sind. Wo es sich lediglich um eine Übersicht der möglichen Salze handelt, genügt die Betrachtung des Sättigungsdreiecks. Dieses soll im folgenden zur Erläuterung synthetischer Untersuchungen dienen.

Sättigungsdiagramm des Rinneits.

Boeke, dessen Untersuchung am Rinneit $[\text{FeCl}_2 \cdot 3 \text{KCl} \cdot \text{NaCl}]$ wir im Vorhergehenden kennen lernten, gelang auch die künstliche Darstellung des Rinneits aus wässriger Lösung aus den Einzelkomponenten FeCl_2 (bzw. dem gewöhnlichen Hydrat $\text{FeCl}_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$), KCl und NaCl . Bei einer Temperatur von $26,4^\circ$ bildet sich Rinneit nach der Gleichung



Bei Temperaturen unterhalb $26,4^\circ$ ist der Rinneit neben Lösung unbeständig und zerfällt in die Einzelsalze.

Das Existenzgebiet des Rinneits wurde aus praktischen Gründen bei einer Temperatur von $38,0^\circ$ untersucht. Die Löslichkeitsbestimmungen (Sättigungswerte, „Sättigungszahlen“) für die verschiedenen Punkte sind in nachstehender Tabelle zusammengestellt. Hierbei und ebenso bei der in Abb. 37 wiedergegebenen graphischen Darstellung sind statt der Chloride die Gewichtsprozent der Atome Fe, K, Na bzw. die Atomprozent benutzt und die Sättigung durch Angabe der für 100 Atome (Fe + K + Na) erforderlichen Mole H_2O ausgedrückt.

	Bodenkörper	Gewichtsprozent			Auf 100 Atome (Fe + K + Na)			
		Fe	K	Na	At. Fe	At. K	At. Na	Mol. H_2O
C	$\text{FeCl}_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$	18,34			100,0			987,7
A	KCl					100,0		1065,0
B	NaCl						100,0	891,7
F	$\text{FeCl}_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O} + \text{KCl}$	17,01	5,96		66,6	33,4		608,3
E	$\text{FeCl}_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O} + \text{NaCl}$	17,81		1,69	81,3		18,7	783,4
D	$\text{KCl} + \text{NaCl}$					34,6	65,4	751,5
G	Rinneit + $\text{KCl} + \text{NaCl}$	15,21	5,64	1,47	56,7	30,0	13,3	590,0
J	Rinneit + $\text{FeCl}_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O} + \text{KCl}$	17,23	5,74	0,58	64,2	30,6	5,2	560,7
H	Rinneit + $\text{FeCl}_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O} + \text{NaCl}$	18,02	4,93	1,31	63,8	24,9	11,3	509,5

In den Ecken A, B, C des Dreiecks liegen K, Na, Fe entsprechend reinem KCl , NaCl , $\text{FeCl}_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$. Der Punkt R gibt die Zusammensetzung des Rinneits. Geht man von einer dieser Zusammensetzung entsprechenden Lösung aus und dampft sie bei 38° ein, so scheidet sich zunächst KCl aus, da R im Sättigungsfeld von KCl liegt. Hierdurch ändert sich die Lösung, und zwar verläuft diese Änderung entlang einer Linie, die das ausfallende Salz (KCl) verbindet mit dem darstellenden Punkt der Lösung (R). Derartige Linien bezeichnet man als Kristallisationsbahnen. Beim Durchlaufen einer solchen ändert sich eine Lösung immer derart, daß sie sich vom darstellenden Punkt der ausfallenden Verbindung entfernt. Im Punkte L erreicht die Kristallisationsbahn die Grenzlinie zweier Existenzfelder. Bezüglich ihres weiteren Verlaufes gibt es drei Möglichkeiten: entweder sie folgt der Grenzlinie, bis diese auf ein neues Existenzfeld stößt, oder sie tritt unmittelbar bei L in das benachbarte Feld über, oder sie folgt der Grenzlinie eine bestimmte Strecke und lenkt dann in das Nachbarfeld ab. Das erste ist der Fall, wenn die darstellenden Punkte der beiden Verbindungen, deren Existenzfelder zu beiden Seiten der Grenzlinie liegen, gleich-

falls auf verschiedene Seiten der Grenzlinie bzw. ihrer Verlängerung fallen. Alsdann scheiden sich die beiden Salze gleichzeitig, „paragenetisch“, aus der Lösung aus. Der zweite Fall liegt vor, wenn die darstellenden Punkte der beiden fraglichen Verbindungen auf ein und derselben Seite der Grenzlinie oder deren Verlängerung liegen, und wenn das ausfallende Salz aus der Lösung entfernt wird. Alsdann erfolgt Ausscheidung der ersten Verbindung innerhalb ihres Existenzfeldes bis zur Grenzlinie, von hier ab Ausscheidung der zweiten gleichfalls innerhalb ihres Existenzfeldes. Die Richtung der Kristallisationsbahn in diesem letzteren ist gegeben durch die Verbindung des darstellenden Punktes des zweiten Salzes mit dem der Lösung auf der Grenzlinie. Der dritte Fall endlich tritt ein, wenn bei einseitiger Lage der darstellenden Punkte das bereits ausgeschiedene Salz sich mit der Lösung umsetzen kann. Richtung und Ausgangspunkt der Kristallisationsbahn im Existenzfeld des zweiten Salzes werden bestimmt durch die Gerade, die den darstellenden Punkt dieses Salzes mit dem darstellenden Punkt der Ausgangslösung verbindet. Auf dem Stück der Grenzlinie, das zwischen dem End- bzw. Anfangspunkt der beiden Kristallisationsbahnen liegt, wird das zweite Salz ausgeschieden, das erste, bereits vorher ausgeschiedene, gleichzeitig z. T. wieder aufgezehrt.

Diese Betrachtungen auf das Sättigungsgramm des Rinneits angewandt, erfolgt die Änderung der Lösung vom Punkte *L* aus auf der Kristallisationsbahn *LG* unter gleichzeitiger Ausscheidung von *KCl* und *NaCl*, da die darstellenden Punkte *A* und *B* dieser beiden Salze zu beiden Seiten von *LG* liegen.

Im Punkte *G* treten insofern neue Verhältnisse auf, als wir es hier mit einem Dreisalzpunkte zu tun haben, d. h. mit einem Punkt, in dem zu den beiden vorigen Salzen die hier beginnende Rinneitbildung hinzukommt. Damit aber auch bei fortschreitender Verdunstung diese gleichzeitige Ausfällung der drei Salze bestehen bleibt, muß die Lösung kongruent sein, d. h. es muß das Mengenverhältnis der Einzelkomponenten (*KCl*, *NaCl* und *FeCl₂*) in den ausfallenden Salzen und in der noch vorhandenen Lösung das gleiche sein. Alsdann würde die gesamte Lösung unter Bildung der drei Salze fest, der betreffende Dreisalzpunkt wäre Endpunkt der Kristallisation. Ob eine solche kongruente Lösung vorliegt, können wir aus dem Sättigungs-dreieck daran erkennen, daß der darstellende Punkt der Lösung (*G*) innerhalb des von den darstellenden Punkten der drei Salze (*A*, *B* und *R*) gebildeten Dreiecks liegt. Ist dies wie im vorliegenden Beispiel nicht der Fall, so handelt es sich um eine inkongruente Lösung, und der weitere Verlauf der Kristallisationsbahn muß in der oben mitgeteilten Weise untersucht werden. Zwei Möglichkeiten sind gegeben: Verlauf auf einer der beiden vom Dreisalzpunkt ausgehenden Grenzlinien oder Verlauf im Existenzfeld zwischen diesen beiden Linien. Da wir von einer Ausgangslösung ausgingen, die gerade

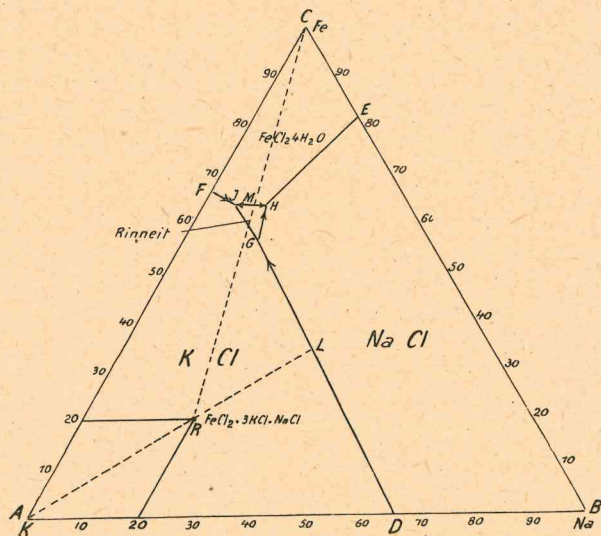


Abb. 37. Sättigungsdiagramm des Rinneits bei 38° C. Nach Boeke.

der Rinneitzusammensetzung entsprach, ist ein Eintritt der Kristallisationsbahn in das Rinneitfeld nach dem vorhergegangenen Abzug von KCl und NaCl nicht möglich, es muß vielmehr die Rinneitbildung im Punkte *G* unter Aufzehrung der genannten ausgeschiedenen KCl- und NaCl-Menge so lange andauern, bis alles KCl und NaCl wieder aufgezehrt ist und alles Salz als Rinneit vorliegt. Werden aber bei beginnender Rinneitausscheidung die ausgeschiedenen Bodenkörper aus der Lösung entfernt, so folgt die Rinneitbildung der Linie *GH* als Kristallisationsbahn unter gleichzeitiger Bildung von NaCl, da die Punkte *R* und *B* zu beiden Seiten dieser Linie liegen.

Der Dreisalzpunkt *H* liegt innerhalb des Dreiecks der darstellenden Punkte der drei Salze $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (*C*), Rinneit (*R*) und NaCl (*B*), die Lösung ist kongruent, sie kristallisiert vollständig unter Bildung von NaCl, Rinneit und $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$.

Gehen wir nicht von der Lösung *R*, sondern von einer im Rinneitfeld gelegenen Lösung aus und lassen diese verdunsten, so wird deren Kristallisationsbahn auf die Linie *JH* zustreben, auf der sich neben Rinneit noch $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ausscheidet. Hier muß sich die Kristallisationsbahn entweder auf *H* oder auf *J* zu bewegen, jedenfalls sich aber von der Linie *RC*, also vom Punkte *M* entfernen. Sie wird dann entweder im Punkte *H* oder aber im Punkte *J* enden, denn auch *J* entspricht einer kongruenten Lösung, und zwar in bezug auf die Bodenkörper KCl, Rinneit und $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$.

Liegt schließlich die Ausgangslösung im Rinneitfeld gerade auf der Linie *RC*, so wird sich die Lösung unter Rinneitausscheidung bis zum Punkte *M* bewegen, hier aber ihre Zusammensetzung nicht mehr ändern. Auch *M* ist ein Kristallisationsendpunkt, aber ein labiler. Eine geringe Änderung der Lösung hat zur Folge, daß die Kristallisation diesen Punkt verläßt und nach *H* oder *J* wandert.

Die Wahl einer solchen innerhalb des Rinneitfeldes gelegenen Lösung als Ausgangspunkt für die Darstellung des Rinneits bei 38° erwies sich als besonders günstig. Boeke wählte eine solche von der Zusammensetzung

NaCl	=	5,96 g
KCl	=	20,90 „
$\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	=	123,4 „
H_2O	=	55,4 „

d. h. entsprechend einem Punkte in der Mitte zwischen *G*, *H* und *J*.

Sättigungsdiagramm der Meerwassersalze.

Jede graphische Darstellung stößt jedoch auf Schwierigkeiten, wenn es gilt, die Sättigungsverhältnisse von mehr als drei Salzen bei einer gegebenen Temperatur gleichzeitig zu berücksichtigen. Dieses Erfordernis tritt aber z. B. ein im Fall der Verdunstung des Meerwassers, wo am Aufbau der sich ausscheidenden Salze, wenn wir zunächst von den Kalksalzen absehen, bereits die sechs Einzelsalze NaCl, KCl, MgCl_2 , Na_2SO_4 , K_2SO_4 und MgSO_4 teilnehmen. In solchem Falle bietet sich im allgemeinen nur die Möglichkeit einer geeignet erscheinenden Auswahl oder einer Zusammenfassung verschiedener Salze in Gruppen. Im Falle des Meerwassers kommt nun ein weiterer Umstand der Darstellung zugute, nämlich der, daß stets Sättigung herrscht an NaCl, daß also nur Lösungen in Betracht kommen, die gleichzeitig NaCl als Bodenkörper enthalten. Die Angabe, wie in diesem Fall die verschiedenen Salze und deren Sättigungsverhältnisse unter Zugrundelegung des gleichseitigen Dreiecks sich darstellen lassen, verdanken wir E. Jänecke.

Die Darstellungsform Jäneckes zieht von den beiden Säureresten Cl und SO_4 und den drei Metallen Na, K und Mg, die die oben genannten sechs Salze bilden, nur die drei Werte K, Mg und SO_4 heran, und zwar als K_2 , Mg und

SO₄ und faßt alle Mischungen als bestehend aus diesen dreien auf, während Na und Cl nur berücksichtigt werden, soweit dies zur Bildung neutraler Salze nötig ist. SO₄, K₂ und Mg sind die Ecken des Dreiecks und entsprechen den Salzen Na₂SO₄, K₂Cl₂ und MgCl₂ (Abb. 38). K₂ + Mg + SO₄ wird auf die Summe 100 umgerechnet. Auf der Seite K₂ — Mg liegen demnach die Mischungen der Chloride K₂Cl und MgCl₂, auf der Mitte der Seite Mg — SO₄ die Salze mit dem Mischungsverhältnis Mg : SO₄ = 1 : 1, d. h. der Kieserit [MgSO₄ + H₂O], das Magnesiumsulfathexahydrat [MgSO₄ + 6 H₂O] sowie der Reichardt [MgSO₄ + 7 H₂O], auf der Mitte der Seite K₂ — SO₄ das Salz mit dem Mischungsverhältnis K₂ : SO₄ = 1 : 1, d. h. K₂SO₄. Auf der Verbindungslinie K₂SO₄ — MgSO₄ liegen die Mischsalze dieser beiden Sulfate, links von ihr Salze, die außerdem Na als Sulfat, rechts von ihr Salze, die außerdem Cl enthalten. Die Abbildung zeigt die Lage der wichtigsten Salze in diesem Dreieck.

Auf Grund der van't Hoff'schen Daten hat Jänecke die Sättigungsdiagramme für 25° und für 83°, auf Grund der Ergebnisse der Untersuchungen von D'Ans die für 0° und für 55° gezeichnet. Von ihnen sei hier lediglich das Sättigungsdiagramm für 25° wiedergegeben, in das Jänecke auch den Verlauf der Kristallisationsbahnen eingetragen hat (Abb. 39). Jänecke bezeichnet als Kristallisationsbahnen lediglich die innerhalb der Existenzfelder verlaufenden Geraden. Einzelne Grenzlinien, entlang denen die Lösungsänderung unter Ausscheidung beider Salze erfolgen kann, sind durch Pfeile gekennzeichnet.

Dieses Dreieck enthält außerdem den Darstellungspunkt für die Zusammensetzung des bis zur Sättigung an NaCl eingedampften Meerwassers, der nach den neuesten Ergebnissen nicht mehr in das Reichardtfeld sondern in das Astrakanitfeld fällt.

Betrachten wir nun an Hand dieses Dreiecks den Kristallisationsverlauf bei weiterem Verdunsten des an NaCl gesättigten Meerwassers. Dieser erfolgt zunächst

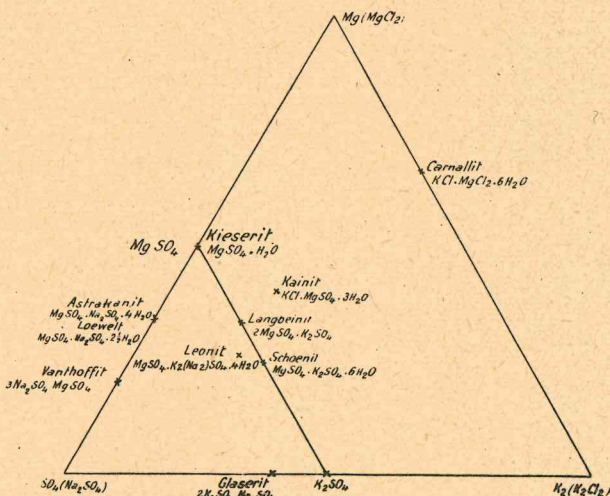


Abb. 38. Lage der wichtigsten Salzpunkte im Projektionsdreieck. Nach Jänecke.

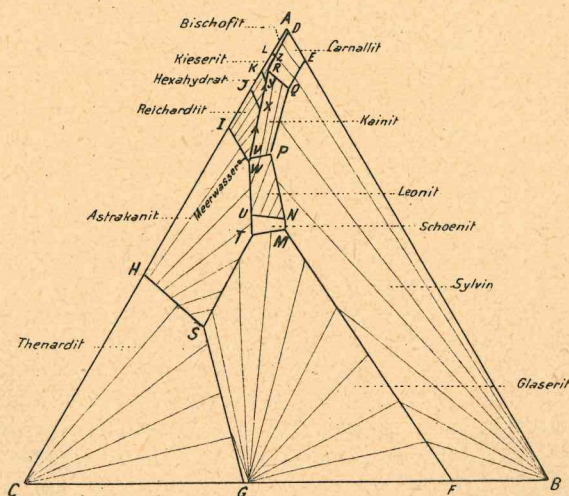


Abb. 39. Sättigungsdiagramm der Meerwassersalze bei 25° C. Nach Jänecke.

auf der Linie Astrakanit—Meerwasser bis zum Schnitt mit der Linie *J—W*. Dann tritt, da die Darstellungspunkte für Astrakanit und Reichardtite auf derselben Seite der Grenzlinie liegen und das ausgeschiedene Salz an der weiteren Reaktion nicht mehr teilnimmt, die Kristallisationsbahn in das Reichardtitefeld über, folgt hier unter Ausscheidung von Reichardtite einer vom Reichardtitepunkt ausgehenden Bahn und stößt weiterhin auf die Grenzlinie des Reichardtite- und Kainitfeldes. Da die darstellenden Punkte dieser Verbindungen zu beiden Seiten der genannten Linie liegen, ändert sich die Lösung auf ihr unter gleichzeitiger Ausscheidung von Reichardtite und Kainit bis zum Punkte *X*, schreitet aus analogem Grunde auf der Grenzlinie Magnesiumsulfathexahydrat und Kainit unter Bildung dieser beiden Salze fort bis zum Punkte *Y*, desgleichen auf der Grenzlinie Kieserit- und Kainitfeld unter Absatz von Kainit und Kieserit bis zum Punkte *R* und ebenso auf der Grenzlinie Kieserit- und Carnallitfeld unter Ausscheidung dieser beiden bis nach *Z*. Der Dreisalzpunkt *Z* entspricht einer kongruenten Lösung der Salze Kieserit, Carnallit und Bischofite, in ihm erfolgt vollständige Erstarrung der Lösung unter Bildung der drei genannten Salze.

Van't Hoff's Untersuchungen der ozeanischen Salzablagerungen erstreckten sich bekanntlich auf die beiden Temperaturen 25° und 83° . Untersuchungen von J. D'Ans u. a. lehrten zwei weitere Löslichkeitsisothermen kennen bei den Temperaturen 0° und 55° , und die Kenntnis der Salzausscheidungsfolge bei diesen vier annähernd gleichmäßig verteilten Temperaturen gestattet die Interpolation auch dazwischenliegender Isothermen. Einer Zusammenstellung Jäneckes sind nachstehende Ausscheidungsfolgen entnommen:

15°	40°
6. Carnallit—Hexahydrat—Bischofite	6. Carnallit—Kieserit—Bischofite
5. Carnallit—Hexahydrat	5. Carnallit—Kieserit
4. Carnallit—Reichardtite	4. Kainit—Kieserit
3. Kainit—Reichardtite	3. Kainit
2. Schoenit—Reichardtite	2. Langbeinite
1. Reichardtite	1. Astrakanit
25°	45°
7. Carnallit—Kieserit—Bischofite	7. Carnallit—Kieserit—Bischofite
6. Carnallit—Kieserit	6. Carnallit—Kieserit
5. Kainit—Kieserit	5. Kainit—Kieserit
4. Kainit—Hexahydrat	4. Kainit
3. Kainit—Reichardtite	3. Langbeinite
2. Reichardtite	2. Loewite
1. Astrakanit	1. Astrakanit
35°	55°
6. Carnallit—Kieserit—Bischofite	6. Carnallit—Kieserit—Bischofite
5. Carnallit—Kieserit	5. Carnallit—Kieserit
4. Kainit—Kieserit	4. Kainit—Kieserit
3. Kainit	3. Kainit
2. Leonit	2. Langbeinite
1. Astrakanit	1. Loewite

Man erkennt zunächst, daß der Kristallisationsendpunkt bei allen Temperaturen im Dreisalzpunkt *Z* liegt, während der Anfangspunkt aus dem Reichardtitefeld in das Astrakanit-, Loewite- und bei 83° schließlich in das Schoenitfeld wandert.

In welcher Weise an Hand der erörterten Darstellungsform die Mengen der sich ausscheidenden Salze auf graphischem Wege berechnet werden können, soll hier nicht näher auseinandergesetzt werden. Die Methode beruht darauf, daß die drei auf einer geraden Linie oder im Scheitel bzw. auf den Schenkeln eines Winkels liegenden Darstellungspunkte der sich ausscheidenden Verbindung, der Restlösung und der jeweiligen Ausgangslösung stets so angeordnet sind,

daß die letztere im Schwerpunkt der Geraden oder eines Dreiecks liegt, und daß die in Physik und Chemie so häufig anwendbare Beziehung zwischen Größen und Angriffspunkten von Massen und Kräften (Hebelprinzip, Schwerpunktsprinzip) auch im vorliegenden Falle gilt. Diese graphische Berechnungsmethode ist erheblich einfacher als die zahlenmäßige.

Neben dem gleichseitigen Dreieck sind mehrere andere Darstellungsformen im Gebrauch, so die von van't Hoff benutzte — vier Koordinatenachsen = den Kanten eines halben Oktaeders —, so die von D'Ans angewandte — drei Koordinatenachsen = den Kanten einer halben dreiseitigen Pyramide —, von denen jede ihre Vorteile und Nachteile besitzt. Das Dreieckschema hat jedenfalls den Vorzug größter Einfachheit und Übersichtlichkeit.

Wie beim Beispiel des Rinneits, so erhalten wir auch für die Meerwassersalze ein Bild der tatsächlichen Sättigungsflächen nur, wenn wir gleichzeitig die zur Sättigung erforderlichen Wassermengen mit in Betracht ziehen. In derselben Weise wie dort erhält man auch hier für eine bestimmte Temperatur ein räumliches Sättigungsmodell (Abb. 40). Solche Modelle für die verschiedenen Temperaturen hat Jänecke konstruiert, sie sind im Handel zu beziehen (Dr. Krantz, Bonn) und geben ein anschauliches Bild des Wertes der Sättigungsflächen und ihrer Beziehungen zueinander.

Die Calciumsalze.

Neben den bisher erwähnten Salzen von Kalium, Natrium und Magnesium haben sich aus dem Meerwasser auch Calciumsalze in beträchtlicher Menge ausgeschieden, deren Gegenwart bei den bisherigen Darlegungen vernachlässigt wurde. Jedoch vollzog sich die Ausscheidung des Calciums zum weitaus größten Teil als schwerlösliches Calciumsulfat vor dem Beginn der Bildung jener anderen Salze, und deren Ausscheidungsfolge oder Paragenese wurde, solange noch Schwefelsäure in der Lösung vorhanden war, von dem noch vorhandenen Calcium nur wenig berührt, vielmehr übten die Kali-Magnesiumsalze ihrerseits Einfluß aus auf die Art und Menge des sich ausscheidenden Kalksalzes. Dementsprechend begegnen uns die Calciumsalze, die sich im Verband mit den übrigen Salzen bildeten, vorwiegend als Sulfate, als Gips, Anhydrit, Polyhalit. Anders in schwefelsäurearmen oder -freien Lösungen. Hier tritt Calcium als gleichwertig neben Magnesium und Kalium auf, und Calciumchloride bilden sich. Doch zeigt die Seltenheit des Tachydrits $[\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{MgCl}_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}]$ in der Natur, daß dieser Fall nur ausnahmsweise eintrat. Die Kalksalze lassen sich in der entsprechenden Weise wie die übrigen berechnen und darstellen. Diese Berechnung ergibt für

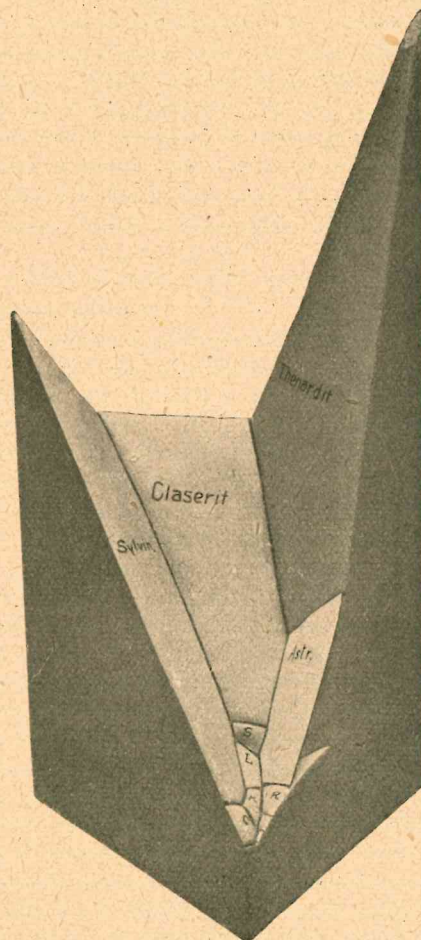


Abb. 40. Räumliches Sättigungsmodell der Meerwassersalze. Nach Jänecke.

die Bildung aus Meerwasser bei 25° als Reihenfolge der Ausscheidung an ungefähren Mengen: Gips 66%, Gips + Steinsalz 21%, Anhydrit + Steinsalz 6½%, Polyhalit + Steinsalz 6½% (nach Jänecke). Daraus folgt das wichtige Ergebnis, daß nicht Anhydrit, sondern Gips das erste sich bildende Kalksalz ist, und daß die Anhydritmassen, die uns heute im Liegenden unserer Salzlager entgegnetreten, aus ursprünglichem Gips hervorgegangen sind. Aus dem jeweiligen Wassergehalt zu Beginn der Ausscheidung reiner Kalksalze (73000), zu Beginn der Ausscheidung von Kalksalz + Steinsalz (6050), zu Beginn der Ausscheidung von Kalisalzen (1150) sowie zu Ende der Salzbildung überhaupt (900) geht hervor, daß die Periode der Gipsausscheidung die übrigen Perioden an Dauer weit übertraf, und daß die Periode der Bildung von Kalisalzen nur von verhältnismäßig kurzer Dauer war.

Scheinbare Widersprüche zwischen den Ergebnissen synthetischer Untersuchung und geologischer Beobachtung.

Zwischen den Ergebnissen exakter physikalisch-chemischer Forschung und geologischer Beobachtung in der Natur schienen zunächst Widersprüche in großer Zahl zu bestehen. Um nur die wesentlichsten zu nennen: Kainit, der in den theoretischen Profilen bei jeder Temperatur eine große Rolle spielt, fehlt in der primären Salzfolge der Salzlager; die Paragenese von Steinsalz-Sylvinit-Kieserit, die auf den natürlichen Lagerstätten als Hartsalz überaus weit verbreitet ist, erfordert eine niedrigste Bildungstemperatur von 72°, also Temperaturverhältnisse, wie wir sie noch nicht aus den kleinen heißen ungarischen Salzseen kennen, und deren dortige Ursache — Aufspeicherung der Sonnenwärme in ruhigen, tieferliegenden Schichten mit besonders hoher Laugenkonzentration — für das große, stärker bewegte Zechsteinbecken ebensowenig zutrifft, wie die in jenen Seen bestehende Unmöglichkeit des Eindunstens dieser konzentrierten Lauge infolge einer darübergebreiteten salzarmen Wasserschicht; Astrakanit, Reichardt, Hexahydrat, Leonit und Bischofit sind in den Zechsteinablagerungen nicht vorhanden usw. Vergeblich suchte man diese Unstimmigkeiten durch Umwandlungen zu erklären, die bereits bei Ablagerung der Salze eingetreten seien, in erster Linie infolge von wiederholten Überflutungen und teilweiser Neukristallisation, sodann infolge von Laugenzuflüssen aus Randgebieten oder aus höher gelegenen benachbarten Einzelbecken. Einzelne Erscheinungen mögen auf diesem Wege wohl ihre Erklärung finden, so die Wiederholung von Salzfolgen im Staßfurter und im hannoverschen Bezirk; so die Bildung eines zweiten Kalilagers im Werragebiet. Auch die verbreitete lagenförmig wechselnde Struktur zweier Salze, die nach der Theorie sich gleichzeitig bilden und daher als körniges Gemenge sich darbieten müßten, reicht wohl in die Zeit der Ablagerung der Salze zurück. Hier waren es tägliche und jährliche Temperaturschwankungen, die ein abwechselndes Ausfallen der Salze herbeiführten, wo eine mittlere Temperatur der gleichzeitigen Ausscheidung förderlich gewesen wäre. Aber gerade die oben aufgezählten und manche andere Gegensätze finden auf diesem Wege keine Lösung. Erst in den letzten Jahren ist es den vereinten Forschungen von Physikochemikern und Geologen gelungen, auch den Weg zu weisen, auf dem die prinzipielle Lösung der Frage nach der Erklärung der heute in den Salzlager uns entgegnetretenden Salze und Salzparagenesen liegt.

Umwandlung der primär gebildeten Salze durch Temperaturzunahme. Inkongruentes Schmelzen der Salze.

F. Rinne hat bereits in der 1901 erschienenen ersten Auflage seiner Gesteinskunde darauf aufmerksam gemacht, daß sekundäre Umwandlungen infolge einer Temperaturerhöhung durch Auflagerung mächtiger Gesteinsschichten nicht

ausgeschlossen erschienen, und hat solche Vorgänge als thermische Metamorphose oder Thermometamorphose bezeichnet. Aber erst R. Lachmanns geologische Beobachtungen und Schlußfolgerungen 1910 und in den folgenden Jahren gaben Veranlassung, sich allgemeiner mit den Kräften zu befassen, die das Werden unserer Salzlager beeinflussten, und, angeregt durch Lachmann, haben alsdann S. Arrhenius vom physikalisch-chemischen, E. Harbort vom geologischen Standpunkt die Bedeutung des Einflusses betont, den mächtige Sedimentanhäufung und dadurch hervorgerufene Temperatursteigerung auf den heutigen Charakter der Salzlagerstätten ausüben mußten. E. Jänecke gebührt dann das Verdienst, den Verlauf dieser Umwandlungen, gestützt auf die Ergebnisse eigener und fremder synthetischer Forschungen, in einzelnen, in der Natur besonders wichtigen Fällen qualitativ und quantitativ verfolgt zu haben. Jänecke hat auch darauf hingewiesen, daß ebenso, wie die Überlagerung der Salzschieben eine Umwandlung durch Temperaturzunahme, die Verringerung der Deckschichten eine solche durch Temperaturabnahme mit sich bringe.

Die verhältnismäßig niedrigen Schmelzpunkte einer großen Zahl der kristallwasserhaltigen Salze und Salzgemenge mußten infolge der mit der Auflagerung weiterer Sedimente verbundenen Temperatursteigerung in mehr oder weniger weitem Umfange ein Schmelzen herbeiführen, wodurch in weitgehendstem Maße die Möglichkeit zu chemischen Reaktionen gegeben war, die vielfache Umwandlungen der ursprünglichen Salzablagerungen zur Folge hatten. Daß diese Temperaturen ohne Schwierigkeit erreicht werden konnten, leuchtet ohne weiteres ein, wenn wir uns vergegenwärtigen, daß die Sedimentanhäufung, die im Gebiet nördlich der Linie Teutoburger Wald — Solling — Harz (Mitteldeutsche Festlandsschwelle) einsetzte, z. B. im hannoverschen und norddeutschen Bezirk auf Mächtigkeiten von 5 bis 7000 m answoll und daß diese einer Temperatursteigerung auf rund 150 bis 200° entsprechen, während zahlreiche besonders wichtige Umwandlungsvorgänge sich in einem Temperaturbereich von 60 bis 120° abspielen, d. h. bei Temperaturen, die etwa in Teufen von 2000 bis 4000 m gegeben sind.

Untersuchungen solcher Schmelzvorgänge und über den Verlauf solcher Umwandlungen sind in großer Zahl von D'Ans, Jänecke und anderen Forschern ausgeführt worden und erstrecken sich sowohl auf einfache Hydrate wie auf komplexe Salze und Salzgemenge. Bei allen diesen Vorgängen tritt der Fall, daß die entstehende Schmelzlösung von gleicher Zusammensetzung ist wie das schmelzende Salz (kongruentes Schmelzen), verhältnismäßig selten auf, das Schmelzen von Bischofit $[\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ bei 107° entspricht genau oder doch sehr nahe einem solchen. Fast regelmäßig weichen aber schmelzendes Salz und Schmelze in ihrer Zusammensetzung voneinander ab, und aus dem ursprünglichen festen Salz entsteht gleichzeitig mit der davon verschiedenen Flüssigkeit (gesättigten Lauge, Restlauge) ein neues festes Salz. Solches inkongruentes Schmelzen bedeutet also nicht Flüssigwerden schlechthin, und die Schmelztemperatur ist nicht einfach Übergangstemperatur vom festen in den flüssigen Aggregatzustand, sondern die Temperatur, bei der ursprünglich festes Salz, neugebildetes festes Salz und Flüssigkeit, alle drei verschieden voneinander, im Gleichgewicht sich befinden. Eine geringe Änderung dieser Gleichgewichtstemperatur bewirkt, daß die Reaktion in dem einen oder in dem andern Sinne vollständig verläuft, d. h. daß das Ausgangssalz vollständig aufgezehrt wird unter Bildung des neuen Salzes und der gesättigten Lauge, oder daß aus diesen beiden vollständige Rückbildung des Ausgangssalzes stattfindet.

Die Rolle, die die Restlauge bei solchen Vorgängen spielt, besonders die Frage, ob sie an den weiteren Reaktionen im System teilnahm, oder ob sie ganz oder teilweise und bis zu welchem Grade sie dieser Teilnahme entzogen

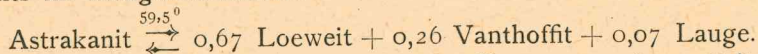
wurde, ist von größter Bedeutung. Ob das eine geschehen ist oder das andere, wird sich in der Natur nicht mehr in allen Fällen entscheiden lassen. Wir besitzen ein Mittel zur Prüfung dieser Frage lediglich in der Salzparagenese, deren genaues Studium damit von höchstem praktischen Wert wird. Dadurch, daß die Möglichkeit des Einwirkens auf vorhandene Salze aber eine recht mannigfaltige sein kann, können auch die entstehenden Salzkombinationen nach Art und Menge recht verschieden ausfallen.

Der Umbildungsprozeß unter Beteiligung der entstehenden Laugen.

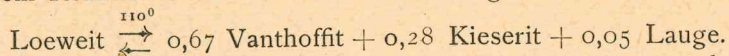
Die bei der Umbildung der Salzlagerstätten wichtigsten Schmelzvorgänge sollen für den Fall, daß die entstehenden Laugen aus dem Umwandlungsprozeß nicht ausscheiden, kurz besprochen werden. Als Ausgangsschichtenfolge sei diejenige bei 25° gewählt.

Zunächst wird bei einer Temperaturzunahme bis 48° der vorhandene Reichardt [MgSO₄ · 7H₂O] schmelzen unter Bildung von Hexahydrat [MgSO₄ · 6H₂O] und dieses wieder bei 68° unter Bildung von Kieserit [MgSO₄ · H₂O]. Dadurch entstehen bereits in den liegendsten Schichten des Salzprofils Magnesiumsulfatlaugen, durchtränken diese und die darüberliegenden und wirken lösend und umwandelnd auf letztere, indem sie hier Kainit schon zum Teil in Langbeinit überführen. Diese erste bereits bei tiefen Temperaturen erfolgende Laugenbildung erleichtert vor allem auch den späteren Laugen aus höheren Schichten das Eindringen in die tieferen.

Astrakanit [MgSO₄ · Na₂SO₄ · 4H₂O], wie aus der Aufstellung Seite 132 hervorgeht, von 25 bis 45° Erstausscheidung, schmilzt bei einer Temperatur von 59,4° unter Bildung von Loewit [2MgSO₄ · 2Na₂SO₄ · 5H₂O], Vanthoffit [3Na₂SO₄ · MgSO₄] und Lauge, und zwar bei vollständigem Reaktionsverlauf nach rechts im Mengenverhältnis:

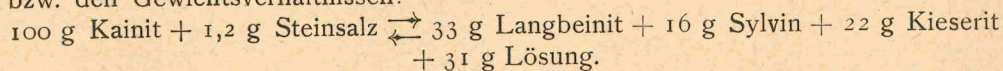
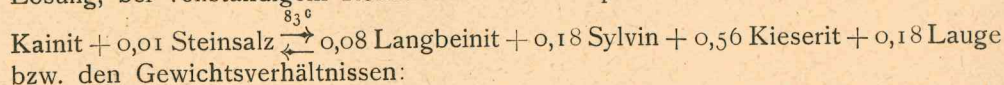


Ein Reaktionsverlauf nach links bei sinkender Temperatur ist natürlich nur solange möglich, als die Lauge nicht abfließt oder abgepreßt wird. Loewit wieder schmilzt dann bei 110° unter Bildung von Vanthoffit, Kieserit und Lösung, bei vollständigem Reaktionsverlauf nach der Gleichung:



Mengenverhältnis der sich bildenden Salze und Zusammensetzung der Restlauge lassen sich in der oben angedeuteten Weise berechnen. Letztere ist naturgemäß stark sulfathaltig. Vanthoffit, dem wir ja in den Kalilagern öfters begegnen, verdankt diesem Umwandlungsvorgang seine Entstehung und ist in Verbindung mit Kieserit zu erwarten.

Kainit [MgSO₄ · KCl · 3H₂O], wie wir gesehen haben gleichfalls stets primärer Entstehung, schmilzt bei 83° in Gegenwart von Steinsalz unter Bildung von Langbeinit [K₂SO₄ · 2MgSO₄], Sylvit [KCl], Kieserit [MgSO₄ · H₂O] und Lösung, bei vollständigem Reaktionsverlauf entsprechend den Verhältnissen:



Ein Gemisch von Kainit, Carnallit und Steinsalz schmilzt bei 72° unter Bildung von Sylvit, Kieserit und Lauge, bei vollständigem Reaktionsverlauf entsprechend den molekularen Mengen:

0,805 Kainit + 0,195 Carnallit $\xrightleftharpoons{72^{\circ}}$ 0,63 Kieserit + 0,21 Sylvin + 0,16 Lösung
bzw. den Gewichtsverhältnissen:

70 g Kainit + 30 g Carnallit + (0,5 g Steinsalz) $\xrightleftharpoons{72^{\circ}}$ 38 g Kieserit + 29 g Sylvin
+ 33,5 g Lauge.

Ein solches Gemisch von Kainit und Carnallit tritt aber auch in der natürlichen primären Salzfolge auf, wo zwar die beiden Salze nie gemeinsam ausfallen, wohl aber da unmittelbar aneinandergrenzen, wo die gemeinsamen Ausscheidungen Kainit—Kieserit und Carnallit—Kieserit aufeinander folgen. Die Zusammensetzung der Restlauge bei der Kainitumwandlung entspricht im wesentlichen einer Magnesiumchloridlauge. Um ihre Menge kennen zu lernen, bedarf es bestimmter Annahmen über den Umfang der an der Reaktion teilnehmenden Schichten. Da ihre relative Menge, wie aus den obenstehenden Gleichungen ersichtlich, ziemlich beträchtlich ist, kann die Durchtränkung der Schichten mit Lauge eine ziemlich weitgehende sein.

Sie wird aber ganz wesentlich übertroffen durch die Laugenmenge, die durch Schmelzen des Bischofite der hangendsten Schicht der primären Salzfolge bei 117° auftritt und diesen Vorgang für den Verlauf der Umwandlungsvorgänge zu einem außerordentlich wichtigen macht. Wenn die bei dieser Temperatur noch vorhandenen Salzsichten der Reihe nach durch von oben eindringende Magnesiumchloridlauge durchtränkt werden, so wird hierdurch zunächst in der ersten Schicht der Sylvin in Carnallit umgewandelt, alsdann in der zweiten der Langbeinit in Sylvin und Kieserit zerlegt und zuletzt auch dieser neugebildete Sylvin in Carnallit übergeführt, so daß also das Ziel dieser Umwandlung eine Mischung der beiden Salze Carnallit und Kieserit bildet.

Auf Seite 138 ist der Verlauf aller dieser Umsetzungen nochmals kurz zusammengestellt unter Angabe der Umbildungstemperatur und der dieser Umbildungstemperatur bei Annahme einer geothermischen Tiefenstufe von 33 m entsprechenden Tiefe. Das jeweils von der Umwandlung betroffene Salz ist gesperrt gedruckt. Ausgegangen ist von dem Primärprofil bei 25° .

Schließlich sei noch der Gips erwähnt, der allein das primäre Calciumsulfat unserer Lagerstätten gewesen sein muß, den wir aber heute in den tieferen Schichten nicht mehr antreffen. Auch der Anhydrit verdankt einem inkongruenten Schmelzvorgang seine Entstehung, indem sich der Gips $[\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$ bei 107° in $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ und wohl bei weiterer Temperatursteigerung in Anhydrit umsetzt. Infolge der geringen Löslichkeit von CaSO_4 besteht die abgespaltene Lösung hier aus fast reinem Wasser, das naturgemäß aus den benachbarten Salzsichten Salz aufnimmt und damit für eine etwaige Rückverwandlung des Anhydrits nicht mehr in Frage kommt.

Dagegen kann diese Salzlösung zusammen mit anderen gesättigten Laugen, die bei höherer Temperatur mit dem Anhydrit in Berührung treten, in der Weise auf den Anhydrit einwirken, daß es zur Bildung von Polyhalit $[\text{2CaSO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$ kommt, dessen Existenzgebiet mit steigender Temperatur an Ausdehnung wesentlich zunimmt. Die Herkunft der erforderlichen Lauge dürfte sich in erster Linie aus dem Reichardtite herleiten.

Die bisher behandelten Umwandlungsprozesse haben eine Maximaltemperatur von 117° erfordert, entsprechend einer Mächtigkeit der Deckschichten von etwa 3800 m, wenn wir die im Bohrloch von Sperenberg festgestellte geothermische Tiefenstufe von 33 m der Berechnung zugrunde legen. Ablagerungen von solcher Mächtigkeit liegen aber gewiß nicht außer dem Bereich des Möglichen, ja Stille gibt, wie bereits oben erwähnt, für das Niederdeutsche Becken sogar solche von 5- bis 7000 m an. Wir müssen also mit dem regionalen Auftreten noch weit höherer, und zwar bis auf 150 bis 200° steigender Temperaturen

- 7. Carnallit—Kieserit—Bischoffit
 - 6. Carnallit—Kieserit
 - 5. Kainit—Kieserit
 - 4. Kainit—Hexahydrat
 - 3. Kainit—Reichardtitt
 - 2. Reichardtitt
 - 1. Astrakanit
- 48°
- ca. 1500 m
- Carnallit—Kieserit—Bischoffit
 - Carnallit—Kieserit
 - Kainit—Kieserit
 - Kainit—Hexahydrat
 - Kainit—Hexahydrat
 - Hexahydrat
 - Astrakanit
- 68°
- 2200 m
- Carnallit—Kieserit—Bischoffit
 - Carnallit—Kieserit
 - Kainit—Kieserit
 - Kainit—Kieserit
 - Kainit—Kieserit
 - Kieserit
 - Astrakanit

- Carnallit—Kieserit—Bischoffit
 - Carnallit—Kieserit
 - Kainit—Kieserit
 - Astrakanit
- 59,5°
- 2000 m
- Carnallit—Kieserit—Bischoffit
 - Carnallit—Kieserit
 - Kainit—Kieserit
 - Loeweit—Vanthoffitt
- 110°
- 3600 m
- Carnallit—Kieserit—Bischoffit
 - Carnallit—Kieserit
 - Kainit—Kieserit
 - Vanthoffitt—Kieserit

- Carnallit—Kieserit—Bischoffit
 - Carnallit—Kieserit
 - Kainit—Kieserit
 - Kieserit
- 72°
- 2400 m
- Carnallit—Kieserit—Bischoffit
 - Sylvin—Kieserit
 - Kainit—Kieserit
 - Kieserit
- 83°
- 2700 m
- Carnallit—Kieserit—Bischoffit
 - Sylvin—Kieserit
 - Langbeinit—Sylvin—Kieserit
 - Kieserit

- Carnallit—Kieserit—Bischoffit
 - Sylvin—Kieserit
 - Langbeinit—Sylvin—Kieserit
 - Kieserit
- 117°
- 3800 m
- Carnallit—Kieserit
 - Sylvin—Kieserit
 - Langbeinit—Sylvin—Kieserit
 - Kieserit
- Carnallit—Kieserit
 - Carnallit—Kieserit
 - Langbeinit—Sylvin—Kieserit
 - Kieserit
- Carnallit—Kieserit
 - Carnallit—Kieserit
 - Sylvin—Kieserit
 - Kieserit
- Carnallit—Kieserit
 - Carnallit—Kieserit
 - Carnallit—Kieserit
 - Kieserit

rechnen. Bei einer Temperatur von 167° tritt aber ein Schmelzen des in dem Carnallit-Kieseritgemisch vorhandenen Carnallits ein unter Bildung von Sylvin, so daß an die Stelle jenes Gemisches ein solches von Sylvin-Kieserit treten würde. Weitere Schmelzvorgänge kommen jedoch nicht mehr in Frage, denn das einzige noch vorhandene wasserhaltige Salz, der Kieserit, schmilzt erst bei 350° .

Abpressen der Laugen.

Abweichungen von dem hier skizzierten Verlauf der Umwandlungsvorgänge treten besonders dadurch ein, daß es zu einer Laugendurchtränkung benachbarter Salzsichten nur in geringem Umfange oder überhaupt nicht kommt, sondern daß die Laugen unter der Wirkung lokaler Druckkräfte vorher abgepreßt werden. Solche Kräfte traten einmal bereits bei den Umwandlungsvorgängen selbst infolge der damit verbundenen Volumvermehrungen auf, und die zahlreichen, in den nicht geschmolzenen Salzen, im Steinsalz, im Kieserit, im Hartsalz usw., zu beobachtenden unregelmäßigen Faltungen und Fältelungen sind Zeugnis dafür, zu welchem erheblichen Betrage diese Kräfte anwachsen konnten. Sie waren ferner wirksam infolge tektonischer Vorgänge während der postpermischen Faltungsperioden, deren Einflüsse in den stark nachgiebigen Salzmassen gleichfalls tiefe Spuren hinterließen. In beiden Fällen mußte es zu Laugenfortpressungen in beträchtlichem Maße kommen. Deren Folge aber mußte sein, daß die im vorhergehenden Abschnitt geschilderten Umbildungsprozesse infolge Laugendurchtränkung auf die frühen Stadien beschränkt blieben, daß Vermischung verschiedener Restlösungen sowie chemische Einwirkung solcher auf andere feste Salze möglich wurden. Vorgänge dieser Art konnten bei den verhältnismäßig hohen Temperaturen zu Änderungen in der Salzparagenese führen, ja es konnten sich unter geeigneten physikalischen Bedingungen aus den abgepreßten Laugen aufs neue Salze abscheiden. So erklärt sich wohl die Bildung mancher Sylvinnester. Bei Temperaturen oberhalb 117° sind die Chlormagnesiumlaugen imstande, mehr und mehr Chlorkalium aufzunehmen und können schließlich bei 167° und darüber so viel Chlorkalium gelöst enthalten, daß es bei der Abkühlung zunächst zur Ausscheidung von reinem Sylvin und weiterhin daneben von Carnallit kommt. Die so entstandenen Salze zeichnen sich durch ihre chemische Reinheit aus. Auch der oft beträchtliche Druck, unter dem die Laugen innerhalb der umgebenden Gesteinsmasse vielfach stehen, kann für den Verlauf solcher Umsetzungen von Bedeutung sein.

Die Beantwortung der Frage, ob es sich beim Anfahren von Laugen um die Restlaugen aus den genannten Umwandlungsvorgängen, um sog. „Ur-laugen“; oder um Tagewässer handelt, die ihren Weg in die Salzlagerstätte fanden und hier lösend und zerstörend tätig waren, ist für den Bergbau von der größten praktischen Bedeutung, ist aber zugleich wohl eine der schwierigsten überhaupt auftretenden. Zu ihrer Entscheidung bedarf es eingehender geologischer und chemischer bzw. physikalisch-chemischer Prüfung. „Ur-laugen“ sind stets gesättigte Lösungen, die mit den das Laugenbassin umgebenden Salzen, soweit deren Durchtränkung stattgefunden hatte, in chemischem Gleichgewicht gewesen waren, die aber, wenn sie erst eine Austrittsmöglichkeit gefunden haben, auf ihrem Wege unter den herrschenden Temperatur- und Druckverhältnissen nicht mehr die Fähigkeit besitzen, Salze zu lösen und zu chemischen Umsetzungen nur in ganz beschränktem Umfang Anlaß bieten können. Sie bieten infolgedessen, abgesehen von der technischen Schwierigkeit ihrer Bewältigung, wenn sie in großer Menge auftreten, für den Grubenbetrieb jedenfalls keine unüberwindliche Gefahr. Sie sind ferner ausgezeichnet durch eine jeweils bestimmte, konstant bleibende chemische Zusammensetzung, die derjenigen theoretisch be-

rechenbarer Restlaugen wenigstens annähernd entsprechen muß. Dagegen weichen die auf Tagewässer zurückzuführenden Lösungen in ihrer Zusammensetzung von solchen Restlaugen wesentlich ab, auch unterliegen sie mehr oder minder erheblichen zeitlichen Schwankungen. Schließlich deutet fortlaufend gleichmäßiger Druckabfall an der Austrittsstelle auf Entleerung eines Laugenbassins hin. Erhöhte Vorsicht ist natürlich geboten, wo Laugen in geringeren Teufen sowie in Verbindung mit Störungslinien auftreten.

Rückbildung der Salze bei Temperaturabnahme.

Alle die genannten Prozesse können sich quantitativ in der umgekehrten Reihenfolge abspielen, wenn durch Abtragung der Sedimentdecke oder durch Emporsteigen der Salze in ein höheres Schichtenniveau eine Temperaturabnahme stattfindet, vorausgesetzt, daß die zuvor entstandenen Laugen nicht abgewandert oder wie im Falle der Anhydritbildung, wo es sich um Abspaltung von Wasser handelte, auf andere Weise dem System entzogen worden sind. Bei teilweiser Abwanderung hängt es lediglich von deren Umfang ab, welche Rückbildungen oder Neubildungen eintreten, und es liegt auf der Hand, daß hierdurch ein vielfacher Wechsel der Salzfolgen und Salzparagenesen bedingt wird. Das Fehlen von Bischofit und die Seltenheit des Kainits in anderen als in Hutzonen sind Zeugnis dafür, daß die zu ihrer Rückbildung erforderlichen Laugen nicht mehr zugegen waren. Falls Chlormagnesiumlauge noch in hinreichender Menge in den betreffenden Salzsichten vorhanden war, verwandelte sich bei sinkender Temperatur der Langbeinit ganz oder zum Teil in Kieserit-Sylvin, letzterer bei Gegenwart genügender Laugenmenge ganz oder zum Teil in Carnallit, so daß letzten Endes auch dieser Vorgang auf die Bildung von Sylvin bzw. Sylvin-Langbeinit oder von Carnallit bzw. Carnallit-Sylvin hinauslief.

Die Kenntnis der theoretischen primären Salzfolge sowie der Gesetzmäßigkeiten im Verlauf zahlreicher Umwandlungsvorgänge, von denen die primären Ablagerungen in der Tiefe betroffen wurden, gibt uns ein ausgezeichnetes Mittel an die Hand, die Mannigfaltigkeit der Salzfolgen und Salzparagenesen, die uns heute entgegentritt, zu verstehen. Dazu bedarf es aber in erster Linie eines sorgfältigen mineralogisch-petrographischen und chemischen Studiums der Lagerstätten, denn gerade das Auftreten der seltenen Salze, der spärlichen Reste primärer und früher sekundärer Bildungen, sowie von Restlaugen vermag wichtige Anhaltspunkte zu geben über deren Entwicklung.

Anwendung der Umwandlungsvorgänge auf natürliche Salzgesteine.

Viele Erscheinungen, die uns bisher Rätsel waren, oder zu deren Erklärung wir wenig wahrscheinliche Annahmen heranziehen mußten, haben mit Hilfe dieser neuen Gesichtspunkte ihre einfache Deutung gefunden. Die Bildung von Hartsalz (kieseritischem Sylvinhalit) ist erfolgt bei Temperaturen oberhalb 72° aus ursprünglichen Kainit-Carnallitgemengen, die sich bei fallender Temperatur infolge Laugenmangels nicht zurückbilden konnten. Wahrscheinlich ist sogar Temperatursteigerung bis 117° eingetreten und die alsdann reichlich vorhandene Lauge abgepreßt worden. Dafür spricht sowohl das Fehlen der bischofithaltigen Schicht im Hangenden wie auch das verbreitete Zusammenvorkommen des Hartsalzes mit kieseritischem Halitcarnallit (Hauptsalz). Daß bei der Ausbildung der Textur des uns heute entgegentretenden Hartsalzes noch besondere Pressungsvorgänge und Sammelkristallisation wirksam waren, wurde von Rinne betont. Der Gemengecarnallit enthält, wie oben erwähnt, Brocken von Anhydrit, Steinsalz, Kieserit und Hartsalz in carnallitischer Grundmasse. Diese breccienartige Struktur sowie die räumliche Beschränkung und die Form seines Vorkommens

in begrenzten, in der Regel linsenförmigen Einlagerungen in Hartsalz schließen eine primäre Bildung aus. Die beiden letztgenannten Tatsachen sprechen auch dagegen, daß die Entstehung bei Temperaturen um 160° erfolgte, bei denen der Carnallit mehr oder minder vollständig geschmolzen sein mußte, während nur die in Bruchstücken eingeschlossenen Salze noch fest vorhanden sein konnten, und daß diese Salze in die flüssige Carnallitschmelze von oben hereinbrachen. Einer solchen Auffassung steht auch entgegen, daß diese Salze, da die spezifischen Gewichte von Anhydrit (2,96), Steinsalz (2,173), Kieserit (2,573) und Sylvit (1,987) durchweg wesentlich höher sind als das spezifische Gewicht des Carnallits (1,602), hätten zu Boden sinken müssen, daß uns also eine basale Breccienzone im Carnallit entgegentreten müßte, was jedoch nicht der Fall ist. Wohl aber läßt sich die Entstehung dieses eigenartigen Salzgesteins verstehen durch die Annahme, daß die im wesentlichen durch das Schmelzen des Bischofites entstandenen Laugen durch Aufnahme von Chlorkalium carnallitische Zusammensetzung annahmen, infolge der Wirkung von Druckkräften, die zugleich die festen Salzschieben teilweise zerbrachen, in diese hineingepreßt wurden und bei der späteren Temperaturabnahme zu einer festen carnallitischen Grundmasse erstarrten, die die verschiedenartigen Salzbrocken einschloß. Im Einklang mit dieser Auffassung steht auch das von Naumann beobachtete gelegentliche Vorkommen von Schollen geschichteten kieseritischen Carnallits im Trümmercarnallit. Wir müssen darin Reste der hangenden Carnallit-Kieseritschicht erblicken, die trotz der Laugendurchtränkung und der damit verbundenen weitgehenden Umgestaltung ihre ursprüngliche schichtige Struktur noch bewahrten.

Die wenigen bisher genau untersuchten Profile mußten auf Grund dieser neuen Auffassungen mannigfache Umdeutungen erfahren, sie erwiesen aber, soweit dies geschehen ist, eine Übereinstimmung mit den Ergebnissen der theoretischen Forschung, die wohl dazu ermutigen kann, diese auch weiterhin zur Deutung der natürlichen Salzablagerungen heranzuziehen.

V. Die Geologie der Salzlagerstätten.

Parallelisierung der Salzhorizonte verschiedener Bezirke.

Vielleicht schon in ihrer ersten Anlage, sicher aber in ihrer weiteren Entwicklung zeigten die Lagerstätten lokal so vielfache Abweichungen voneinander, daß von geologisch-stratigraphischen Gesichtspunkten eine Einteilung in verschiedene Bezirke ebenso notwendig erschien wie von petrographischen. Die geologische Erforschung der Salzlagerstätten sah daher eine ihrer ersten Aufgaben darin, die einzelnen Salzhorizonte in den verschiedenen Bezirken zu vergleichen und in Beziehung zueinander zu setzen. Sie stand dabei aber insofern einer besonderen Schwierigkeit gegenüber, als Organismen, die die Durchführung eines solchen Vergleichens ermöglichen konnten, in den Salzablagerungen so gut wie völlig fehlten.

So blieb man denn einzig auf die Benutzung petrographischer Momente angewiesen. Im Salz selbst aber war der Wechsel der petrographischen Beschaffenheit ein zu häufiger, die äußerlich erkennbaren Merkmale vielfach zu sehr zufälliger Natur, als daß man die Salzhorizonte zu einem unmittelbaren Vergleich hätte heranziehen können. Um so brauchbarer erwiesen sich manche Salzton- und Anhydritschichten mit ihrem auf weite Erstreckung einheitlichen Charakter und den oft ganz spezifischen Merkmalen hinsichtlich Farbe, Einlagerungen, chemischer Zusammensetzung und Struktur.

Als Normalprofil gilt auch heute noch das der Staßfurter Salzablagerungen, die tektonischen Einflüssen weder in dem Ausmaß ausgesetzt waren wie die

weiter nördlich und nordwestlich gelegenen Bezirke Hannover und Norddeutschland, noch auch den abweichenden Bildungsbedingungen der randnäheren Gebiete des Zechsteinbeckens weiter im Süden und Südwesten unterlagen. Mit ihm am meisten überein stimmen die Salzlager des Südharzbezirks, dessen Selbständigkeit Zimmermann, der zuerst einen Staßfurter und einen Werratypus in geologischer Beziehung unterschieden hat, denn auch lediglich in bezug auf die Ausbildung des Kalilagers anerkennt.

Das wichtigste Ergebnis der Parallelisierungsversuche der einzelnen Bezirke ist unzweifelhaft der durch Zimmermann geführte Nachweis der Identität des Hauptanhydrits der Staßfurter Ablagerungen mit dem Plattendolomit im hessisch-thüringischen oder Werragebiet, jener beiden Schichtglieder also, die für die beiden Gebiete in gleichem Grade als ausgezeichnete Leithorizonte für die Ausbildungsweise der darunterliegenden Kalilager gelten. Die Untersuchung zahlreicher Bohrprofile und Aufschlüsse in dem Gebiet zwischen Südharz und Thüringer Wald hat nun ergeben, daß sich in vertikaler wie in horizontaler Richtung ein allmählicher Übergang der einen in die andere Bildung vollzieht. Bohrungen, die zunächst typisches Jüngeres Steinsalz mit eingelagertem Pegmatitanhydrit und Rotem Salzton erschlossen, stießen weiter im Liegenden auf unverkennbaren Plattendolomit. Und eine Bestätigung fand diese Tatsache darin, daß die Unteren Letten mit der charakteristischen Einlagerung schwacher Sandsteinschieferbänken in eigenartiger Verbindung mit dem Salzton auftraten, ein Mittelding zwischen Unterem Letten und Grauem Salzton bildend. In horizontaler Erstreckung aber machen Plattendolomit und Untere Letten ganz allmählich, je weiter man nach Norden fortschreitet, dem Hauptanhydrit und Grauen Salzton Platz, und die dolomitischen Verunreinigungen, die in Teilen des Hauptanhydrits bei Staßfurt und weit darüber hinaus, bis nach Rüdersdorf und Sperenberg nachgewiesen sind, sind nach Zimmermann nichts anderes als die letzten Ausläufer bzw. die ersten Anzeichen des Plattendolomits. Für das gesamte Jüngere Steinsalz des Staßfurter Lagers fehlt hiernach eine äquivalente Bildung in der Salzfolge des Werratypus, diese ist vielmehr der Auslaugung anheimgefallen und lediglich die Oberen Zechsteinletten sind als Rückstände des ehemaligen jüngeren Salzes aufzufassen. Etwaiges Jüngeres Steinsalz im Werragebiet müßte stets über dem Plattendolomit auftreten. Anderer Auffassung ist O. Grupe. Nach ihm sind die sporadisch in Lettenschichten verteilten Dolomitknollen und Dolomitbänken im Hangenden des Jüngeren Steinsalzes im Weser-Leinegebiet sowie am Südwestrand des Harzes Vertreter des Plattendolomits und entsprechen die Salzlager des hannoverschen und Staßfurter Typus in der Gesamtheit ihrer Ablagerungen dem Werratypus. C. Reidemeister kommt auf Grund petrographischer und chemischer Feststellungen an Plattendolomiten des Werragebietes und Salztonen des Staßfurter und Südharzer Gebietes zu demselben Ergebnis, daß zwischen den genannten Gesteinstypen kein prinzipieller, sondern lediglich ein gradueller Unterschied bestehe. Grupe selbst hat jedoch darauf hingewiesen, daß die von Reidemeister herangezogenen Gründe für eine solche Schlußfolgerung nicht zulässig sind. Die von Zimmermann beobachteten unmittelbaren Übergänge des Plattendolomits in den Hauptanhydrit und der Unteren Letten in den Grauen Salzton dürften indessen eine sicherere Grundlage für die Parallelisierung abgeben als die Vergleichung weit auseinanderliegender Horizonte.

Lediglich auf einen Vergleich der Schichten der älteren Salzfolge mit denen im Berlepsch-Schacht beschränken sich C. Rühle und K. Brunhöver. Für die Salze des Bernburger Sattels stellte ersterer vollständige Übereinstimmung mit dem Profil im Berlepsch-Schacht fest. Hinsichtlich der Salzfolge im Kaliwerk Krügershall als Repräsentanten der Salzablagerung in der Mansfelder Mulde bestehen nach letzterem zwar Unterschiede gradueller Natur, z. B. das Fehlen einer

eigentlichen Polyhalitzone und einer Kieseritzzone, nicht aber solche im Typus. Brunhöver kommt auf Grund seiner petrographischen Untersuchung zu dem Schluß, daß zwischen dem Staßfurter Gebiet und dem der Mansfelder Mulde während der Ablagerung der Zechsteinsalze ein ununterbrochener Zusammenhang bestanden habe.

Die Schichtenfolge im hannoverschen Gebiet schließt sich enger an die Staßfurter Entwicklung an als die im Werragebiet. Beide Lagerstättentypen stimmen in ihren Grundzügen überein. Eine ältere mit Anhydrit einsetzende Salzfolge unterscheidet sich deutlich von einer gleichfalls durch Anhydrit eingeleiteten jüngeren, zwischen beide ist Grauer Salzton eingeschaltet und Letten des oberen Zechsteins schließen nach oben die gesamte Schichtenfolge ab. Ein wesentlicher Unterschied liegt bekanntlich in dem Auftreten eines oder mehrerer Kalisalzlager auch in der jüngeren Salzfolge im hannoverschen Gebiet. Eine ins einzelne gehende Vergleichung hat K. Beck durchgeführt. In den sog. jüngeren, in Jüngeres Steinsalz eingeschalteten geringmächtigen Kalihorizonten dieses Autors erblickt jedoch E. Seidl z. T. nichts anderes als Teile des älteren Kalisalzlagers, die in das Jüngere Steinsalz hineingepreßt und vollkommen abgeschnúrt wurden. Grauer Salzton und Hauptanhydrit sowie Roter Salzton und Zwischenanhydrit (Pegmatitanhydrit) ermöglichen die Identifizierung ohne besondere Schwierigkeit, obschon auch nach Beck in der Ausbildung dieser Schichten wesentliche Unterschiede bestehen. So gilt z. B. für den in drei Abteilungen gegliederten Grauen Salzton im oberen Allertal, verglichen mit dem durch H. Precht und W. Biltz untersuchten Staßfurter:

Staßfurt		oberes Allertal		
Tonig-anhydritisch-polyhalitischer	}	Salzton	Tonig-magnetischer	
Tonig-sandiger				Tonig-sandiger
Tonig-magnetischer				Tonig-anhydritischer

Während das Ältere Steinsalz in Staßfurt enge Anhydritjahresringe, das Jüngere ebensolche weiter auseinanderliegende aufweist, fehlen im oberen Allertal Anhydritlagen im Älteren Steinsalz fast ganz, sind aber im Jüngeren um so schärfer ausgeprägt. Schießlich sei noch auf den Unterschied in der Natur des älteren Kalisalzlagers hingewiesen, das in Staßfurt vorwiegend aus kieseritischem Halitcarnallit, im oberen Allertal aus kieseritischem Sylvinhalit (Hartsalz), daneben konglomeratischem kieseritischem Halitcarnallit (Gemengecarnallit) besteht.

Die Lagerungsformen der Salze.

Atektonische Auffassung (Lachmann).

Im Vordergrund des Interesses aber stehen seit einem Jahrzehnt in der Salzgeologie tektonische Probleme und hier wieder vor allem andern die Frage: Verdanken die Salzlagerstätten ihre innere und äußere Gestaltung tektonischen oder chemischen Kräften, tangentialem Druck oder isostatischen Wirkungen? Der Beobachtung R. Lachmanns war es nicht entgangen, daß die Intensität der Faltungserscheinungen im Salzgebirge in keinem Verhältnis stand zu der der Störungen im Nebengestein, ja daß die vielfach bekannten Faltungen, Fältelungen, Verkrümmungen und Verschlingungen der Salzgesteine selbst bei ungestörter, söhligter Lagerung des Nebengesteins nicht fehlten, und daß die Faltungsbilder im Salz in mannigfacher Hinsicht abwichen vom Aussehen und Charakter normaler Gesteinsfalten. Da war kein Festhalten an einem bestimmten Streichen und Fallen, in allen möglichen Ebenen des Raumes lagen die Kurven und Schlingen, unweit abenteuerlichster krampfartiger Windungen waren kaum noch Spuren einer Faltung zu erkennen, kleine Lagerstättenpartien waren

kuppenförmig in ungestört gelagerte hangende Salzschieben hineingewölbt, und diese Aufwölbungen im Kleinen haben anderwärts wieder ganze Felderteile und Felder betroffen. Man hatte sich daran gewöhnt, alle derartige Erscheinungen der Wirksamkeit tektonischer Kräfte und der Plastizität der Salze zuzuschreiben, die Vorstellungen des einen und des anderen alten Geologen oder Bergmannes, eines Volger, von Alberti, Foith, Pošepny, Ville u. a., waren lange vergessen. Aus seinen Beobachtungen zog Lachmann den Schluß, daß die tektonischen Bewegungen im Deckgebirge unabhängig seien von den Sonderbewegungen im Salz, daß diese tektonischer Natur nicht sein könnten. Diese Eindrücke, die Lachmann zunächst von den Bewegungen innerhalb der Salzmassen, den „inneren Deformationen“, gewonnen hatte, dehnte er alsdann aus auf einen großen Teil auch der Bewegungen von Salzmassen im Ganzen, auf sogenannte „äußere Deformationen“. Hier waren es die isolierten, zutage anstehenden oder in nur geringen Teufen erschlossenen Salzkörper, wie sie als klassische Beispiele aus Siebenbürgen, aus Algier und in neuerer Zeit aus Louisiana beschrieben worden sind, die Lachmann in den Kreis seiner Betrachtung zog, und für die er in großer Zahl Analoga fand in den Vorkommen im norddeutschen Flachland und in Hannover. Der ständige Wechsel im Streichen rings um solche Salzkörper, das sog. „zirkuläre“ oder „regelmäßig umlaufende“ Streichen, ein zumal in den oberen Teilen des Salzstockes meist steiles Einfallen der Schichten, eine Aufrichtung oder Schlepplage der in schwebender Lagerung herantretenden Nebengesteinsschichten am Salzstock, das waren die wesentlichen Merkmale, die Lachmann als Beweis dafür anführte, daß auch diese Salzmassen ganz entsprechend den oben erwähnten kuppenförmigen Aufwölbungen, nur aus ungleich größeren Tiefen emporgestiegen seien. Als „Akromorphe“ (Spitzen, Kuppen, Warzen) hatte einst Alberti diese Gebilde bezeichnet, „Ekzeme“ nannte sie Lachmann, weil sie die Erdoberfläche wie Geschwüre durchbohrten, als „Salzstöcke“ sind sie von verschiedener Seite benannt worden, eine Bezeichnung, die auch hier beibehalten werden soll, wenn sie auch weniger drastische Vorstellungen als jene erstgenannten einschließt. Auf die Frage nach den Kräften, die dieses Aufsteigen der Salzmassen erzeugten, konnte Lachmann zunächst nur soviel mit Bestimmtheit aussagen, daß diese nicht tektonischer Natur sein könnten, daß sie vielmehr dem Salz selbst innewohnen müßten, daß es sich um „autoplaste“, nicht um „heteroplaste“ Wirkungen handle. Zunächst dachte Lachmann an osmotischen vergleichbare Kräfte („Pegosmose“), später an eine „Umformung durch Lösungsumsatz“ (Rekristallisation).

Erst im Verein mit Sv. Arrhenius wurden dann diese Vorstellungen über die Ursache des Aufsteigens des Salzgebirges zu größerer Klarheit herausgearbeitet. Die inneren Deformationen werden nunmehr verursacht durch Volumänderungen, die ihrerseits eine Folge sind von Schmelzvorgängen, die innerhalb der Salze bei Temperaturzunahme infolge wachsender Sedimentbedeckung eintreten mußten. Mit diesen Volumveränderungen sind nach den beiden Forschern Druckunterschiede verbunden, denen die im Kristallbrei eingebetteten Salzschieben durch Verbiegungen nachgeben. Auf das Zustandekommen der äußeren Deformationen, insbesondere der „Ekzembildung“ ist eine Reihe verschiedener Faktoren von Einfluß. Zunächst äußern sich infolge des geringen spezifischen Gewichtes der Salzmasse (Steinsalz = 2,16) gegenüber den Deckschichten (2,4 bis 2,6) isostatische Kräfte und erteilen den Salzmassen unter dem Gewicht der spezifisch schwereren, sie randlich umgebenden Gesteinsmassen einen gewissen Auftrieb („Salzauftrieb“), dem das Salz eben vermöge seiner leichten Beweglichkeit zu folgen imstande ist. Ebenso wie innerhalb des Salzkörpers können aber Druckdifferenzen auch durch Einwirkung von außen geschaffen werden. Diese

können tektonischer Natur sein, sie sind aber auch, und das ist in der Regel der Fall, in der Tätigkeit des Grundwassers zu suchen. Dieses bewirkt lokale Auflösung der Salzmassen in größeren Tiefen, die dadurch entstehenden Massendefekte und die infolgedessen auftretenden Druckunterschiede veranlassen jedoch sofort eine molekulare Zufuhr von gelöstem Material aus stärker belasteten Regionen und dessen Wiederausscheidung an den Stellen geringeren Druckes (Rekristallisation), d. h. eine Wanderung des Salzmaterials von Lösungs- zu Ausscheidungsräumen. Vermehrung der Angriffspunkte des Grundwassers und Summierung seiner Wirkungen, wie sie vor allem in den hangenden Salzschiechten zu erwarten sein werden, führten zu einer Mächtigkeitsabnahme der Salzlager. Die Folge dieses Massendefizits im Verein mit dem geringen spezifischen Gewicht ist ein verstärktes Hinwandern gelösten Salzes zu den entstehenden Ausscheidungsräumen und ein vermehrter Auftrieb. Der Salzkörper nimmt in horizontaler Erstreckung mehr und mehr ab und wächst entsprechend in vertikaler Richtung. Häufige Wiederholung dieses Vorganges führt alsdann zur Bildung der Salzstöcke. An diesen Vorstellungen, auf deren Kritik hier nicht näher eingegangen werden soll, befriedigen wohl am wenigsten die Annahmen über die Wirkung des Grundwassers in großen Tiefen, die Entstehung von Hohlräumen und Druckdifferenzen sowie die Reaktion der Salzmassen auf solche durch Rekristallisation. Selbst wenn Wasser in gewissen Fällen zu dem Salz- und Laugenbrei in der Tiefe Zutritt fände, so würde dies stets eine Massenzunahme in einem allseitig mehr oder minder geschlossenen Raum und damit stets eine Druckzunahme bedeuten, der der Salzbrei schließlich wohl durch Eindringen in Schichtfugen, Spalten usw. nachgäbe.

Tektonische Auffassung (Stille).

Im Gegensatz zu Lachmann schreibt H. Stille die Entstehung der „Salzhorste“ oder, um die zuletzt von Stille vorgeschlagenen Bezeichnungen zu gebrauchen, der „Salzpfiler“, „Salzstöcke“ oder „Salzkern“ ausschließlich oder doch ganz vorwiegend dem Wirken tektonischer Kräfte zu und stützt diese Auffassung durch nachfolgende Beobachtungen und Überlegungen. Stille unterscheidet scharf zwischen den durch lange Zeiträume gleichmäßig wirksamen, in weiten Sedimentations- und Senkungsgebieten sich vollziehenden epirogenetischen und den episodisch auftretenden orogenetischen Bewegungsvorgängen. Ein solches Senkungsgebiet war Mittel- und Norddeutschland zur Zechsteinzeit für das aus Nordosten transgredierende Zechsteinmeer sowie für oszillatorische Überflutungen aus dem deutschen Südmeer, der Thetys. Diese Sedimentation setzte sich fort durch die Trias, bis im Jura epirogenetische Hebung zur Bildung der sog. mitteldeutschen Festlandsschwelle führte, in deren Bereich in der Folgezeit im wesentlichen abtragende Kräfte, nur vorübergehend noch ablagernde Vorgänge wirkten. Dagegen blieb das Gebiet nördlich einer Linie Teutoburger Wald—Harz—Solling etwa, das „Niederdeutsche Becken“, auch weiterhin ständig Sedimentationsgebiet. Hier lagerten sich im Lauf der Zeit gewaltige, 5000 bis 7000 m mächtige Sedimentmassen ab. Gerade diese Sedimentationsräume wurden aber andererseits in erster Linie zum Schauplatz des Wirkens faltender Kräfte in den orogenetischen Phasen, deren Stille in dem genannten Gebiet auf Grund jahrelanger Forschungen in nachpermischer Zeit eine ganze Anzahl feststellen konnte, die er unter dem Namen der saxonischen Faltung zusammenfaßte, und von deren Verteilung die nachstehende schematische Darstellung Stilles wohl am raschesten ein Bild zu geben imstande ist (Abb. 41).

Hier im Niederdeutschen Becken, im hannoverschen-norddeutschen Salzbezirk, vermochten die orogenetischen Vorgänge das Salzgebirge an zahlreichen Stellen aus jenen gewaltigen Tiefen z. T. bis zu Tage oder nahe unter Tage zu

heben, während z. B. in dem zwischen Harz und Thüringer Wald gelegenen Thüringischen Becken nach Stille weniger Faltung als flächenhaft wirksame Denudation dazu beitrug, das Salz in für den Bergbau noch erreichbare Teufen

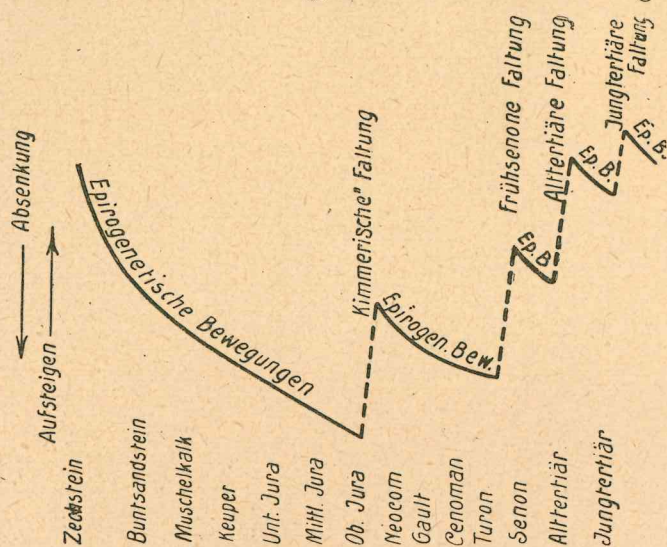


Abb. 41. Schema der Verteilung epirogenetischer und orogenetischer Bewegung in der Region einer Hebungsachse des Niederdeutschen Beckens. Nach Stille.

gelangen zu lassen. In anschaulicher Weise gibt die schematische Darstellung Abb. 42 das Tiefenverhältnis der Salzablagerungen in den verschiedenen Bezirken wieder. In ihr ist auch die Auffassung Stilles angedeutet, daß der Unterschied zwischen Nord und Süd hinsichtlich Senkung und Sedimentanhäufung nicht erst in nachtriadischer Zeit einsetzte, wenn er auch von da ab erst in ganzer Schärfe hervortrat, sondern daß er bereits im oberen Zechstein bestand, wie aus der größten Mächtigkeit der jüngeren Salzfolge gerade im Bereich des späteren Niederdeutschen

Beckens hervorgeht, hinter der die Mächtigkeiten südlich der Linie Harz—Solling erheblich zurückstehen. Die Heraushebung des Salzgebirges vollzog sich aber keineswegs in einem einzigen zusammenhängenden Vorgang sondern stufenweise während der oben erwähnten orogenetischen Phasen, zwischen denen es an der allgemeinen epirogenetischen Absenkung teilnahm mit dem Enderfolg, daß die Summe der orogenetischen Hebungen die der epirogenetischen Senkungen überwog. Die Folge dieser zeitlich und räumlich wechselnden Hebungseffekte war aber schließlich die, daß das Salz in verschiedenen geologischen Zeitabschnitten die Oberfläche erreichte und den Wirkungen des transgredierenden Meeres ausgesetzt wurde. Dementsprechend beobachten wir heute Transgressionen verschiedenen Alters über Salzgebirge, und daß diese transgredierenden Schichten übereinstimmen mit den jeweils gerade auf die orogenetischen Phasen folgenden Ablagerungen, ist für Stille ein Beweis dafür, daß diese Heraushebungen des Salzgebirges ausschließlich infolge der orogenetischen Kraftäußerungen, d. h. als episodische Vorgänge sich vollzogen, nicht aber als kontinuierliche isostatische Ausgleichwirkungen. So kennen wir Transgressionen von Senon (an der unteren Oker, unteren

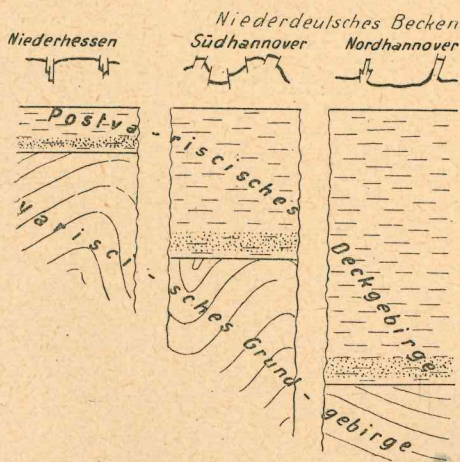


Abb. 42. Untergrund und Faltungsform bei der saxonischen Gebirgsbildung. Nach Stille.

Die Punktierung im tieferen Teil des postvariscischen Deckgebirges gibt die Lage des permischen Salzflözes an.

Aller, bei Bremen und an anderen Orten) und von Oligocän (Benther Salzhorst, Salzlinie Hildesheim—Lehrte). Nur eine solche von Unterer Kreide ist bislang noch nicht aufgefunden, so daß wir annehmen müssen, daß eine Hebung bis zu Tage infolge der kimmerischen Faltung nirgends erfolgt sei.

In bezug auf ihre Richtung wurden die Hebungseffekte wesentlich beeinflußt durch alte, im Boden bereits vorgezeichnete tektonische Linien sowie durch die Gegenwart der alten variscischen Schollen und Massen, im Westen des Rheinischen Schiefergebirges, im Osten der Böhmisches Masse und deren Ausläufer, des Flechtinger Höhenzuges, des Harzes und des Thüringer Waldes (Böhmisch-hercynische Masse), im Norden der Baltisch-russischen Masse, die gewissermaßen als Rahmen mehr oder minder weite Senkungsgebiete einschließen, und zwar Harz und Thüringer Wald das Thüringische Becken, Harz und Flechtinger Höhenzug das Subhercynische Becken, Rheinisches Schiefergebirge und Thüringer Wald bis Harz die Rheinische Tiefe, während sich im Norden von Rheinischer Tiefe und Subhercynischem Becken das Niederdeutsche Becken ausdehnt. Solcher Richtungen waren es vornehmlich zwei, die im Bau der in Frage kommenden Gebiete eine wichtige Rolle spielten: die SO—NW verlaufende hercynische und die annähernd N—S verlaufende rheinische Richtung. Die mit einer Verkürzung der Oberfläche verbundene Annäherung der Böhmisch-hercynischen und der Rheinischen Masse verstärkte und vermehrte die Formelemente rheinischer, eine solche der Baltisch-russischen und der Böhmisch-hercynischen sowie der Rheinischen Masse die hercynische Richtung in den zwischenliegenden Feldern. Zwar kam es in den einzelnen Teilen dieser je nach ihrer Lage gegenüber den Rahmen hier zur überwiegenden Ausbildung der einen, dort der andern der beiden Richtungen, doch blieb diese Scheidung keineswegs eine strenge, die Wirkungsbereiche griffen teilweise ineinander über, überdeckten sich und führten zu einer „Vergitterung“ der tektonischen Linien. Insbesondere griffen so aus dem Thüringischen Becken hercynische Wirkungen westwärts hinüber in die Rheinische Tiefe, aus dieser rheinische nord- und ostwärts hinein in das Niederdeutsche Becken, und es entstand eine am Ostrand der Rheinischen Masse über Hildesheim bis zur unteren Elbe sich hinziehende Zone, in der hercynische und rheinische Linien miteinander vergittert sind, eine Zone, der also von den hier hauptsächlich interessierenden Gebieten Südhannover, Nordhannover und Lüneburger Heide angehören. In welcher Weise aber auch noch in diesem Gebiet die eine bzw. die andere Richtung stärker betont ist, ist aus Abb. 43 ebenso deutlich zu ersehen, wie der ursächliche Zusammenhang für diese Tatsache, nämlich der Einfluß des nördlichen Harzrandes, klar hervortritt.

Diesen beiden tektonischen Richtungen, der hercynischen und der rheinischen, entsprechen nun in den genannten Becken nicht nur zahlreiche Hebungssachsen, sondern, und das ist hier von besonderem Interesse, sie äußern sich auch in der unverkennbaren Anordnung der Salzlücken und Salzstöcke entlang diesen Hebungssachsen bzw. in deren Verlängerung, d. h. im Auftreten zahlreicher sog. „Salzlinien“. Diese Achsen sind aber nicht gleichbedeutend mit einer fortlaufenden gleichmäßigen Heraushebung der älteren Schichten aus der Tiefe, die Beträge solchen Aufsteigens sind vielmehr starkem Wechsel unterworfen, und zwischen den Punkten höchster Heraushebung, den sog. „Achsenbuckeln“, liegen tiefe Einsenkungen, die sog. „Achsensenkungen“. Jene sind es nun, in denen auch das Salzgebirge der Oberfläche genähert ist. Vielfach aber genügte erst die Summe mehrerer Hebungseffekte, wie sie infolge Achsenvergitterung in den sog. „Achsenknoten“ eintritt, um die für den Abbau zugänglichen Teufen zu erreichen, und an solchen Punkten begegnen wir dann vereinzelt inmitten jugendlicher Schichten (Jura, Kreide, Tertiär) aufragenden Salzpfeilern. So sehen wir

in Abb. 43, wo die Salzlinien durch gestrichelte Linien gekennzeichnet sind, wie die Verlängerungen der hercynischen Huy-, Asse-, Elm-, Dorm- und Burbacher Achse eine rheinisch gerichtete, an rheinische Hebungachsen am nordwestlichen Harzrand anschließende Salzlinie schneiden, und wie gerade hier auf den Knotenpunkten der Salzbergbau umgeht. Und solche Linien ließen sich im Niederdeutschen Becken noch in großer Zahl feststellen, von denen hier nur die rheinische Linie Sehnde — Lehrte — Hänigsen — Wathlingen — Höfer — Bardenhagen — Lüneburg und die hercynische etwa dem Lauf der Aller folgende Linie Celle — Oldau — Wietze — Grethem — Rethem — Verden genannt seien. Die Länge solcher Salzlinien kann, wie aus diesen Beispielen ersichtlich, eine recht be-

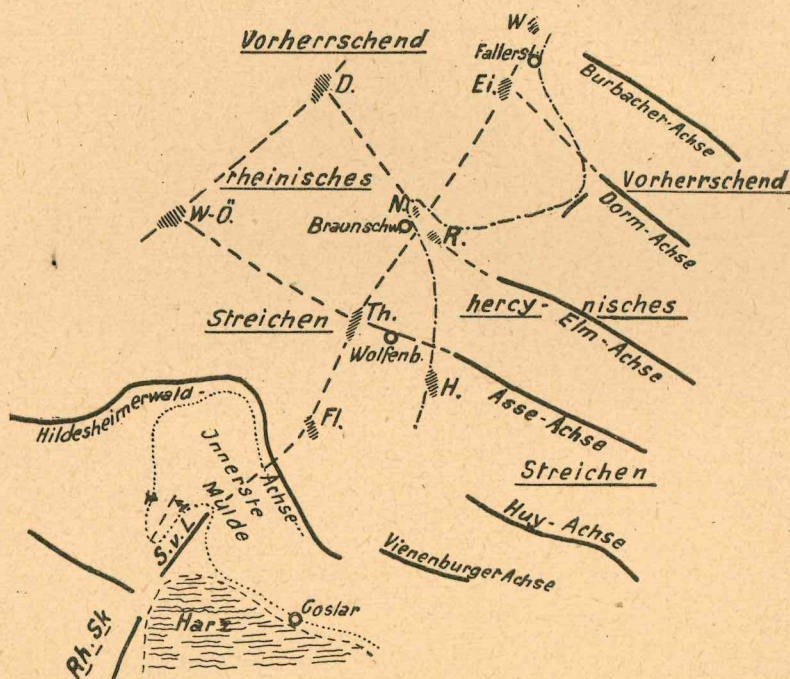


Abb. 43. Tektonische Skizze des Westrandes der subhercynischen Mulde. Nach Stille.

Maßstab 1 : 750000.

- | | |
|---------------------------------------|--|
| Fl. = Salzgebirge von Flachsstockheim | W.-Ö. = Salzgebirge von „Wilhelmshall-Ölsburg“ |
| H. = „ „ Hedwigsburg | D. = „ „ Didderse (untere Oker) |
| R. = „ „ Rautheim b. Braunschweig | N. = Buntsandstein des Nußberges b. Braunschweig |
| Ei. = „ „ „Einigkeit“ b. Fallersleben | S. v. L. = Sattelvorsprung von Lutter a. Barenberge |
| W. = „ „ Weyhausen | Rh. Sk. = Rheinische Senkungslinie Northeim - Echte usw. |

trächtliche werden. Aber auch in der Struktur der einzelnen Lagerstätte, zumal im Streichen der Salzschichten, machen sich diese tektonischen Linien und deren Vergitterung bemerkbar. Daß gelegentlich hercynische und rheinische Richtung sich gegenseitig auch in der Weise beeinflussen, daß Ablenkungen der einen durch die andere oder Herausbildung mittlerer Richtungen entstehen, daß das Streichen der einzelnen Salzstreifen und -pfeiler auf einer und derselben Achse hier rheinisch, dort hercynisch ist, ja daß sogar in einem und demselben Vorkommen ein Wechsel beider Richtungen eintreten kann, ist durch zahlreiche Beobachtungen nachgewiesen.

Endlich aber macht sich auch in bezug auf die entstehenden Dislokationsformen eine regionale Verschiedenheit geltend. Diese Dislokationsformen bestehen ganz allgemein nicht in den schematischen gleichmäßig und geometrisch

gebauten Falten, wie sie in typischen Faltengebirgen auftreten, sondern diese Falten werden durch Querverwerfungen in zahllose Schollen zerrissen. Der Grund dieser Faltung mit gleichzeitiger Bruchbildung liegt wohl darin, daß die mesozoisch-känozoische (saxonische) Faltung senkrecht wirkte zu einer älteren (variscischen), die den Untergrund Deutschlands westlich der Elbe bereits zur Obercarbonzeit in SW—NO streichende Falten zerlegte. Infolge dieser Zerstückelung



Abb. 44. Reihenfolge der Haupttypen saxonischer Faltung von Süden nach Norden. Nach Stille.

der Sättel und Mulden erinnert das entstehende Faltungsgebiet vielfach an horst- und grabenartige Formen. Wo nun Sättel und Mulden trotz ihrer Zerstückelung noch einigermaßen gleichmäßig gebaut sind, spricht Stille von einer „kongruenten“, wo jedoch starke Verschiedenheit beide kennzeichnet, von einer „inkongruenten“ saxonischen Faltung und unterscheidet in diesem letzteren Falle eine „dejektive“ saxonische Faltung, wenn schmale Muldenzonen unverhältnismäßig tief eingesenkt sind, von einer „ejektiven“ saxonischen Faltung, wenn schmale Sattelzonen unverhältnismäßig hoch herausragen. Dejektive und ejektive Faltung faßt er aber unter dem Begriff der „injektiven“ Faltung zusammen, d. h. einer „Faltung unter gesteigertem Vortrieb einzelner Faltelemente“. Was aber nun besonders bemerkenswert erscheint, ist die regionale Verteilung dieser Falten Typen. Diese wird am besten durch die beiden Stilleschen Abbildungen (Abb. 44 u. 45) erläutert. Im Süden, in dem Gebiet, das dem Ostrand der Rheinischen Masse vorgelagert ist, d. h. in der Hessischen Senke, herrscht dejektive Faltung: breite, flache oder schwach gewellte Tafeln älterer Trias („Breitsättel“) werden unterbrochen von schmalen, weit fortstreichenden Zonen tief eingesenkter jüngerer Schichten vorwiegend des Muschelkalks und Keupers, lokal auch des Juras („Gräben“). Nordwärts an dieses Gebiet schließt sich ein solches, vornehmlich Südhannover nördlich des Solling umfassendes, von vorwiegend kongruentem Falten Typus an: jüngere und ältere Schichten werden annähernd gleichmäßig von Störungen betroffen. Endlich

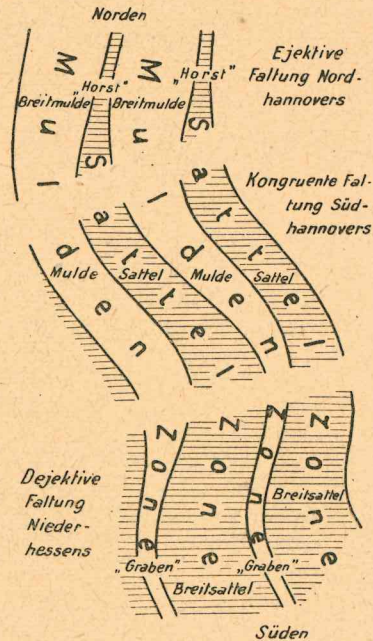


Abb. 45. Der räumliche Zusammenhang zwischen den Haupttypen saxonischer Faltung. Nach Stille.

folgt als letztes, am weitesten nach Norden vorgeschoben, ein Gebiet vorwiegend ejektiver Faltung in Mittel- und Nordhannover: zwischen weiten, flachen bis schwachgefalteten Tafeln jüngerer Schichten (Kreide im Süden, Tertiär im Norden) liegen schmale Zonen („Horste“) älterer (Jura, Trias, Zechsteinsalz). Stille unterscheidet die oben genannten Faltungstypen geradezu als hessischen, südhannoverschen und nordhannoverschen Faltungstypus. Räumlich und formal sind diese Typen natürlich durch Übergänge verbunden. Für das Zustandekommen

der einen oder der andern Form sind nun nach Stille verantwortlich die sog. „Mobilität“ der betroffenen Gesteine und ihre Position. Die Mobilität eines Gesteins definiert Stille als seine Gefügigkeit oder Nachgiebigkeit gegen orogenetischen Druck, spricht aber daneben auch von einer „Teufenmobilität“, d. h. also von einer Nachgiebigkeit gegen Hangenddruck. Letztere ist für gewöhnlich latent vorhanden, der orogenetische Druck setzt sie erst in aktive Mobilität um. Belastung, Temperatur und orogenetischer Druck, das sind die mobilisierenden Faktoren. Aber nur der letztgenannte übermittelte z. B. dem Salz den hohen Grad von Faltbarkeit. Sein Zustand ist in nicht orogenetischer Zeit wesentlich verschieden von dem in den orogenetischen Phasen: dort ist es auch in beträchtlichen Teufen starr, hier kann es auch in wesentlich geringerer Tiefe sich

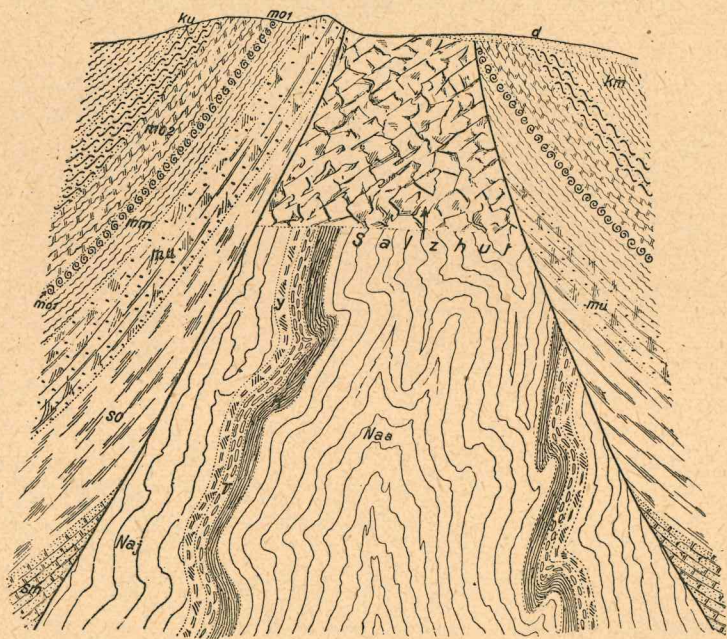


Abb. 46. Schematisches Querprofil durch den südlichen Teil der Asse. Nach Harbort.

Zeichenerklärung:

<i>d</i> = Diluvium	<i>mo₁</i> } = Oberer	} Muschelkalk	<i>so</i> = Oberer	} Buntsandst.	<i>T</i> = Grauer Salton
<i>km</i> = Mittlerer Keuper	<i>mo₂</i> }		<i>sm</i> = Mittlerer		<i>k</i> = Kallager
<i>ku</i> = Unterer Keuper	<i>mm</i> = Mittlerer		<i>Naj</i> = Jüngeres Steinsalz		<i>Naä</i> = Älteres Steinsalz
	<i>mu</i> = Unterer		<i>y</i> = Hauptanhydrit		

mobil verhalten, sich bruchlos oder plastisch umformen. Die Position der Gesteine, ihre gegenseitige Lage, bestimmt die Erreichbarkeit für den orogenetischen Druck. Dieser nimmt seinen Ausgang von den umgebenden Rahmen und wird schwächer, verklingt, mit der Entfernung von diesen. Sein Einfluß ändert sich aber auch in vertikaler Richtung: eine starre Platte, starres Grundgebirge an der Basis mobiler Schichten vermag einen „Grundschutz“ („Basalschutz“) in gewissem Grade auszuüben. Daraus folgt, daß z. B. die südlichen Teile des betroffenen Gebietes von dem saxonischen Faltungsdruck wenig beeinflusst wurden, da die Masse der betroffenen mobilen Schichten gering, der Basalschutz infolge des mächtigen Grundgebirges aber groß ist, und daß ebendasselbe der Fall war ganz im Norden; da hier die Entfernung vom Ausgangspunkt des orogenetischen Druckes zu groß wird, daß jedoch in einem mittleren Gebiet die Wirkung sich am stärksten äußern mußte, oder mit den Worten Stilles: „Niederhessen ist

für den orogenetischen Druck wenig gefügig, Nordhannover wenig erreichbar; Südhannover ist ausreichend gefügig und erreichbar“.

Für die Übertragung dieser Betrachtungen auf das Salzgebirge sind Abb. 42 auf Seite 146 sowie die tabellarisch zusammengestellten Erläuterungen Stilles, deren Wiedergabe hier gleichfalls erfolgt, in hervorragendem Maße geeignet. „Niederhessen“, „Südhannover“ und „Nordhannover“ sind darin nicht identisch mit dem geographischen Begriff, sondern umfassen die Gebiete der entsprechenden typischen Faltungsform.

	a) Niederhessen	b) Südhannover	c) Nordhannover
1	Starke variscische Faltung.	Starke variscische Faltung.	Variscische Faltung nur noch im Süden, klingt aus im Norden.
2	Salzflöz großer Mächtigkeit entsteht im Ausgange der Dyas.	Salzflöz sehr großer Mächtigkeit entsteht im Ausgange der Dyas.	Salzflöz von ganz besonders großer Mächtigkeit entsteht im Ausgange der Dyas.
3	In Oberdyas, Trias und teilweise noch im Lias Teil des Germanischen Beckens. Danach meist Teil des Mitteldeutschen Festlandes.	In Oberdyas und Trias Teil des Niederdeutschen Beckens, und zwar randnaher Teil des letzteren.	randferner Teil des letzteren.
4	Sedimentation nur bis in die ältere Jurazeit und vorübergehend wieder im Tertiär. Denudation in langengeologischen Zeiten.	Seit Ausgang des Paläozoikums fast ununterbrochen starke Sedimentation bis zum Tertiär und z. T. auch noch in diesem. Denudationen nur sehr lokal und im allgemeinen nur nach orogenetischen Phasen.	
5	Triadische und altjurassische Sedimente infolge epirogenetischer Heraushebung schon vor der saxonischen Faltung z. T. wieder beseitigt. Auch Salzflöz vielleicht hier und da schon wieder ausgelaugt. Jüngere Sedimentation unterblieben oder gering.	Triadische und jurassische Sedimente infolge epirogenetischer Absenkung bei Beginn der saxonischen Faltung noch in ursprünglicher Mächtigkeit vorhanden. Auch Salzflöz damals wohl noch überall intakt. Mächtige jüngere Sedimentation.	Sehr mächtige jüngere Sedimentation.
6	Variscisch gefaltetes Grundgebirge bei saxonischer Faltung in geringerer Tiefe („flachgründiges“ post-variscisches Deckgebirge).	Variscisch gefaltetes Grundgebirge bei saxonischer Faltung in größerer Tiefe („tiefgründiges“ post-variscisches Deckgebirge).	Variscisch gefaltetes Grundgebirge bei saxonischer Faltung in sehr großer Tiefe oder gar fehlend (sehr „tiefgründiges“ oder gar „grundloses“ post-variscisches Deckgebirge).
7	Mächtiges Salzflöz bei Faltung in durchschnittlich etwa 1000 m Tiefe dicht über dem variscischen Grundgebirge.	Sehr mächtiges Salzflöz bei Faltung in mehreren tausend Metern Tiefe dicht über dem variscischen Grundgebirge.	Sehr mächtiges Salzflöz bei Faltung in vielen tausend Metern Tiefe, nur im Süden noch dicht über einem gefalteten Grundgebirge, im Norden über flachen paläozoischen Schichttafeln.

Die Punkte 1—5 bilden die historische Erklärung für den unter 6—7 erläuterten Zustand des Bodens bei Eintritt der saxonischen Faltung.

Die Anwendung dieser Vorstellungen auf das Salz ergibt sich nach dem Gesagten von selbst. Das Salz ist ein im höchsten Grade mobiler Körper, es verhält sich daher stark ektiv. Diese Tatsache führte vor allem zur Bildung

der hannoverschen Salzhorste. Stille betont ausdrücklich den Gegensatz, der zwischen seiner Auffassung und der von Lachmann-Arrhenius besteht: nach ihm ist das Aufsteigen des Salzes eine Folge seiner Mobilität, nach diesen eine Folge des geringeren spezifischen Gewichtes, nach ihm geschieht das Aufsteigen episodisch infolge orogenetischen Drucks, nach diesen kontinuierlich infolge isostatischen Ausgleichs. Wenn wir uns aber vergegenwärtigen, daß wir typische Salzstöcke auch in recht weit nach Norden vorgeschobenen Teilen des norddeutschen Flachlandes z. B. bei Jessenitz und Lübtheen antreffen, so läßt das erkennen, daß die Natur einer schematischen Anwendung solcher Überlegungen, so einleuchtend und erkenntnisfördernd sie auch sein mögen, widerstrebt, und daß eine allzuschärfe Betonung nur des einen oder nur des andern Gesichtspunktes den komplexen natürlichen Vorgängen nicht gerecht wird.

Bezüglich der schmalen Gräben im Gebiet zwischen Harz, Thüringer Wald und Rheinischem Schiefergebirge (zwischen mittlerer Werra und Fulda) kommt Lachmann auf Grund seiner Beobachtungen zwar insofern, als diese Gräben nicht tief in den Untergrund hineinreichen, sondern lediglich bis in die Deckschichten des Zechsteins eingesenkt sind, zu dem gleichen Ergebnis wie Stille, indessen hält Lachmann diese Gräben für nichttektonischer Natur, für Auslaugungsgräben, gebildet durch Einbruch hangender Schichten über ausgelaugten Ekzemstreifen. Als wichtiges Kriterium für die Entscheidung, ob rein tektonische Gräben oder Auslaugungsgräben über Salzaufpressungen vorliegen, nennt Lachmann die Gravitationsmessungen mit Hilfe des Pendels, die im ersteren Falle einen Massenüberschuß, im zweiten ein Massendefizit anzeigen müssen. In der Tat soll nach Lachmann der größte Teil der vom preußischen geodätischen Institut in Norddeutschland festgestellten Schwereanomalien (Massendefizite) in der Nähe von heute bekannten Salzstöcken liegen.

Vermittelnder Standpunkt zwischen atektonischer und tektonischer Deutung (Harbort).

Eine in gewissem Grade vermittelnde Stellung zwischen diesen beiden extremen Auffassungen nimmt E. Harbort ein, der sich gleichfalls in hervorragendem Maße an der Erforschung des Salzproblems beteiligt hat. Harbort stimmt mit Lachmann überein insofern, als auch er die Temperatursteigerung in großen Teufen in Betracht zieht und den Druck der Hangendschichten als Ursache des Aufsteigens des Salzgebirges annimmt. Er bestreitet aber, und das wohl mit Recht, daß man unter solchen Voraussetzungen noch von autoplasten Wirkungen und von endogenen Kräften sprechen könne. Lachmann möchte an einer Autoplastie in dem Sinne festhalten, als er Volumänderungen und Rekristallisationsvorgänge im Salz als die wesentlichen Faktoren für Deformationen und Ortsänderungen in den Vordergrund stellt, übersieht hierbei aber, daß jene vielmehr Folgeerscheinungen der Temperaturerhöhung und Druckdifferenzen darstellen. Auf der andern Seite aber faßt Harbort die norddeutschen Salzvorkommen zugleich auf als die natürliche Fortsetzung der Hebungssachsen Mitteldeutschlands mit ihren mehr oder minder regulären Salzsätteln und erkennt das Vorhandensein von Übergangstypen zwischen beiden an. Einen solchen erblickt er z. B. in dem südlichen Teil der Asse (Abb. 46) mit den stark aufgerichteten Sattelflügeln aus Trias; in Siegmundshall, Thiede, Hedwigsburg usw. Nach Harbort benutzte das aufsteigende Salz tektonisch vorgebildete, präkretazische oder noch früher angelegte Sattel- und Hebungslinien als Stellen geringsten Widerstandes. Und doch weicht Harbort nicht unwesentlich von Stille ab. Er ist zunächst nicht der Überzeugung, daß die Gebiete stärkster Sedimentation allgemein auch Gebiete intensivster Faltung gewesen seien. Dies treffe wenigstens nicht zu für das nordhannoversche Flachland. Nicht dieser zentrale Teil des Niederdeutschen Beckens, sondern die peripheren Gebiete, Harzrand, Südhannover,

ostfälisches Hügelland, seien am intensivsten gefaltet. Der Untergrund der Lüneburger Heide sei niemals der von Stille angenommenen intensiven Faltung des jüngeren Mesozoikums unterworfen gewesen. Lediglich die Salzmassen seien gefaltet und hätten randlich Schollen älterer mesozoischer Gesteine mit in die Höhe geschleppt. Und weiterhin sieht Harbort „zum mindesten für die letzte Phase der Heraushebung der Salzmassen“ vertikalen Belastungsdruck als aufwärts treibende Kraft an, nicht tangentialen Faltungsdruck, hält episodisches, ruckweises Aufpressen der Salzmassen für weniger wahrscheinlich als kontinuierliches, allmähliches. Wo an den Rändern der Salzstöcke Schollen älterer mesozoischer Gesteine auftreten, hält Harbort diese nicht wie Stille für einen Beweis von Faltenbildung sondern für mit dem aufgefressenen Salz aus der Tiefe mitgerissene

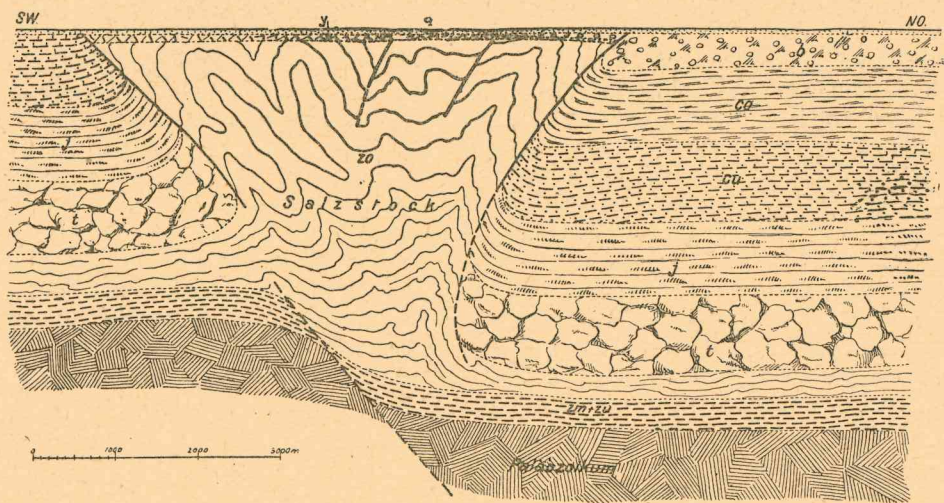


Abb. 47. Querprofil durch einen trichterförmigen Salzstock aus dem nordhannoverschen Flachlande. Nach Harbort.

Zeichenerklärung:
d = Diluvium eo = Obere } Kreide t = Trias zo = Oberer Zechstein (Salzgebirge)
b = Tertiär cu = Untere } y = Salzhut zm + zu = Mittlerer und Unterer Zechstein
j = Jura

Nebengesteinsschollen. Nach Harbort ist es ausgeschlossen, daß da, wo Kreide-, Tertiär-, gelegentlich auch ältere mesozoische Schichten (z. B. jüngere Trias bei Lübtheen) in fast söhlicher Lagerung bis nahe an den Salzstock herantreten, zwischen diesem und jenen Schichten noch die ganze Schichtenfolge der älteren Trias sowie des Jura bzw. sogar noch der älteren Kreide Platz finden sollte, und Bohrungen, die oft nur hundert oder wenige hundert Meter vom Salzstock abstehen, bestätigen diese Auffassung. Auch die Beobachtungen, daß an der oberen und an der unteren Aller stark gefaltetes Salzgebirge auf obere Kreide bzw. älteres Tertiär sogar überschoben wurde, und daß die Randspalten gelegentlich sogar beiderseits nach dem Salzstock hin einfallen, so daß dieser oben sich verbreitert, nach unten aber trichterförmig verengt (Abb. 47), schließen die Wirkung horizontaler Druckkräfte aus.

Anteil der geologischen und der physikalischen sowie chemischen Einflüsse an der Gestaltung der Salzlagerstätten.

Es soll nun versucht werden aus diesen drei Auffassungen, die im vorhergehenden in ihren Hauptlinien skizziert wurden, und die alle drei auf Beobachtungen, z. T. sogar auf ein und dieselben Beobachtungen sich stützen, ein

geschlossenes, den verschiedenen Tatsachen Rechnung tragendes Bild zu gewinnen von dem Zustandekommen der inneren und äußeren Form unserer Salzlagerstätten. Unzweifelhaft fest stehen zunächst die auf physikalischen und chemischen Eigenschaften der Salze beruhenden Einflüsse: der beträchtliche Unterschied im spezifischen Gewicht der Salze einerseits und der sie umgebenden Gesteine andererseits, der Eintritt kongruenten bzw. vorwiegend inkongruenten Schmelzens der Salze bei bestimmten Temperaturen und des Wiederfestwerdens bei entsprechenden Temperaturen, sowie der Verlauf chemischer Umsetzungen zwischen den flüssigen und festen Komponenten entsprechend den gegebenen Mengen und den bestehenden physikalischen Bedingungen (Temperatur, Druck) zwecks Wahrung der chemischen Gleichgewichte. Überschreitungen der Gleichgewichtszustände dürften nur in geringem Umfang in Betracht kommen, da die Änderungen der Bedingungen sich wohl durchweg langsam vollzogen. Auf der anderen Seite stehen auf Beobachtungen gegründete geologische Tatsachen, die von Einfluß auf die Salzablagerungen sein mußten: das allmähliche Tiefsinken des Ablagerungsbeckens und das entsprechende Anwachsen der Sedimentdecke über dem Salz, sowie die Existenz verschiedener orogenetischer Phasen, die den epirogenetischen Vorgang unterbrachen und störten, und deren maximale Wirkungen etwa in Südhannover, im nördlichen Harzvorland, in einem für orogenetische Kräfte gleichzeitig „gefügigen“ und „erreichbaren“ Gebiet, liegen. Dieses dürfte naturgemäß da zu suchen sein, wo die Masse der zur Ablagerung gekommenen Sedimente eine gewisse Auflockerung (Zerrung) im Boden schuf, die das betreffende Gebiet für horizontal wirkende Druckkräfte vorbereitete und begünstigte. Wenn in nördlicher gelegenen, also tieferen Teilen des Beckens eine weitere Zunahme der Intensität der Faltungserscheinungen beobachtet wird, so betrifft diese ausschließlich das Salz. Und gerade diese Tatsache ist m. E. ein sicherer Beweis dafür, daß die Last der auf das Salz aufgelagerten Sedimente, daß der isostatische Druck das Salz in das hangende Gestein und in die Höhe gepreßt hat. In dem Maße wie mit zunehmender Tiefe der Widerstand gegen dieses Einpressen auf der einen und der Belastungsdruck auf der andern Seite sich steigerten, mehren sich auch die Druckäußerungen, die inneren wie die äußeren Deformationserscheinungen. „Erreichbarkeit“ für orogenetischen Druck und Intensität der Druckerscheinungen stehen hier in umgekehrtem Verhältnis, es kann somit jener nicht die Ursache dieser Erscheinungen sein. Andererseits wird man aber annehmen müssen, daß das Aufsteigen des Salzes sich auf solche Stellen beschränkte, wo Widerstandsminima bereits bestanden, auf die schmalen Störungszonen und Spalten, die sich in den orogenetischen Phasen gebildet hatten, und die, worauf H. Cloos hingewiesen hat, lange über die Zeit ihrer ersten Anlage hinaus beständig blieben. Daß aber die orogenetischen Vorgänge jedesmal auch das Aufsteigen der eingeklemmten Salzschnmelze in verstärktem Maße förderten, daran ist nicht zu zweifeln. Das Salz nahm an der allgemeinen Senkung des Sedimentationsraumes nur bis zu einem gewissen Zeitraum, nachher aber nicht mehr oder wenigstens nur in stark zurücktretendem Maße teil, es sank nicht, wie Stille annimmt, in den epirogenetischen Zeiten schlechthin und stieg nur in den orogenetischen, sondern es stieg relativ auch in jenen und wurde lediglich in verstärktem Maße in die Höhe getrieben in diesen. Betrachtet man aber die von Cloos dargestellten Skizzen solcher schmaler Störungszonen, so leuchtet ohne weiteres ein, daß dem eingepreßten Salz reichlich Gelegenheit geboten war, sich in den vielfach zersplitterten Bruchzonen Raum zu verschaffen und Schollen tiefer gelegener Schichten mit in die Höhe zu nehmen. Wie eng die Beziehungen zwischen dem Aufsteigen der Salzstöcke und der tektonischen Anlage des Gebietes waren, geht ja auch aus der Anordnung jener auf tektonischen Linien zur Genüge hervor. Und die oben geschilderte, den Salzstock umgebende Breccienzonen mit ihren bis kubikmetergroßen Brocken des Neben-

gesteins ist nur möglich, wenn die Zertrümmerung und Auflockerung des Nebengesteins durch tektonische Vorgänge erfolgt und dem Aufsteigen der Salzschnmelze vorangegangen war. Diese allein hätte sich den Schichtenköpfen im allgemeinen angeschmiegt, sie aber nie in weitgehendem Maße in kleine und große Bruchstücke zerrissen.

Auf die mannigfaltigen Einzelformen, die alle diese Vorgänge im Salz schufen, und bezüglich derer, wie Lachmann sich ausdrückt, es nur eine Regel gibt: die Regellosigkeit, sowie auf ihre Anordnung soll hier nicht näher eingegangen werden, ebensowenig auf die lokalen und regionalen Verschiedenheiten im Bau der Salzvorkommen, die in zahlreichen Einzeluntersuchungen niedergelegt sind.

Salzspiegel.

E. Fulda stellte zuerst fest, daß alle Bohrungen, die in den Tälern in der Umgebung des Kyffhäusers (Helmetal, Heldrunger und Frankenhäuser Tal, Unstruttal zwischen Sachsenburg und Memleben) niedergebracht waren, das Steinsalz in etwa der gleichen absoluten Teufe erreichten, und zog daraus den Schluß, daß die Salze durch das Grundwasser in einer fast horizontalen Fläche ausgelaugt seien. Er nannte diese Ablaugungsfläche „Salzspiegel“. Die hangenden Schichten waren niedergebroschen und hatten sich auf den Salzspiegel gelegt. Diese Erscheinung tritt indessen ganz allgemein auf, sobald salzführende Schichten soweit gehoben werden, daß sie in den Bereich des Grundwasserspiegels oder darüber hinaus gelangen. Mehr oder minder mächtige Massen von Gips, Anhydrit bzw. Letten, Rückstände aus den ausgelaugten Salzmassen, gewöhnlich als „Trümmergips“, „Deckgips“ oder „Gipshut“ bezeichnet, sind dem Salzspiegel in der Regel diskordant aufgelagert („Ablaugungsdiskordanz“). Die Oberfläche dieses Gipshutes verläuft vollkommen unregelmäßig, wenn die Menge der im Salz eingeschlossenen Verunreinigungen starkem Wechsel unterworfen war. Im allgemeinen wird wohl eine subterrane Entstehung des Salzspiegels angenommen. Aus der Tatsache, daß seine heutige Lage gelegentlich nicht mit der des heutigen Grundwasserspiegels übereinstimmt, geht hervor, daß er auch einem früheren Grundwasserspiegel entsprechen kann. Die über der Ablaugungsfläche von oben hereinbrechenden Deckschichten sind in sich vielfach zerrüttet und erwecken auch da, wo sie über horstartig aufragenden Salzstöcken stehen, oberflächlich den Eindruck einer Grabenversenkung (Beispiel: Allertalgraben). Auf diese Weise werden Teile solcher Schichten tief versenkt und vor Abtragung geschützt, die einer solchen in ihrer übrigen Ausdehnung völlig anheimgefallen sind (vgl. Tertiärschichten in Abb. 49). In welchem Maße ein solches Hereinbrechen erfolgt, dürfte in erster Linie von dem Mengenverhältnis des ausgelaugten Salzes zu

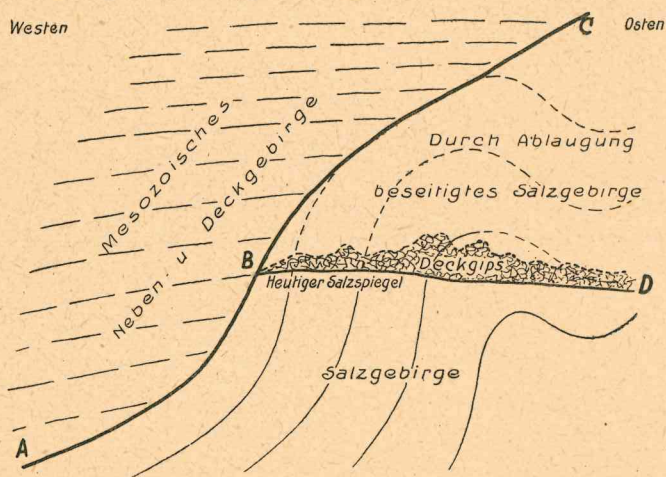


Abb. 48. Verflachung der Randkontur des Salzgebirges der oberen Aller infolge Ablaugung des Salzkopfes. Nach Stille.

Die über der Ablaugungsfläche von oben hereinbrechenden Deckschichten sind in sich vielfach zerrüttet und erwecken auch da, wo sie über horstartig aufragenden Salzstöcken stehen, oberflächlich den Eindruck einer Grabenversenkung (Beispiel: Allertalgraben). Auf diese Weise werden Teile solcher Schichten tief versenkt und vor Abtragung geschützt, die einer solchen in ihrer übrigen Ausdehnung völlig anheimgefallen sind (vgl. Tertiärschichten in Abb. 49). In welchem Maße ein solches Hereinbrechen erfolgt, dürfte in erster Linie von dem Mengenverhältnis des ausgelaugten Salzes zu

den darin enthaltenen Rückständen, sodann aber auch von der Mächtigkeit und der Festigkeit der Deckschichten abhängen. Die Auffassung von der Art der Entstehung des Salzspiegels muß natürlich eine gänzlich verschiedene sein, je nachdem man sich auf den Standpunkt Stilles oder auf den Lachmanns in der Beurteilung der aufgepreßten Salzmassen stellt. Betrachtet man diese als Kerne aufgewölbter Sättel, so hat im Gefolge solcher Aufwölbung über den Grundwasserspiegel hinaus die Ablaugung des überragenden Salzes stattgefunden, und Hüllschichten sowie Sattelflanken sind entsprechend dem Grad der Ablaugung nachgebrochen. Den Vorgang erläutert am besten die nach Stille wiedergegebene Abb. 48, die zugleich zeigt, wie infolge der Ablaugung der ursprünglich ziemlich steil aufgerichtete Rand *BC* sich allmählich bis zur hori-

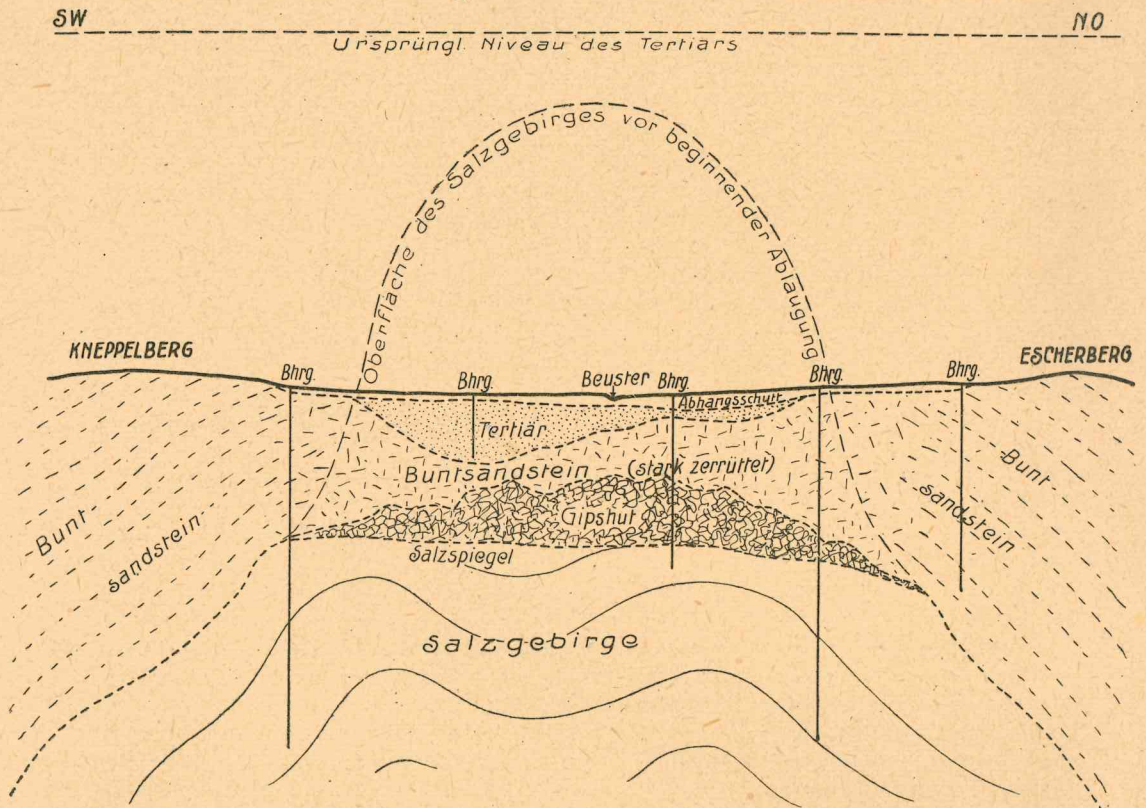


Abb. 49. Profil durch den Hildesheimer Wald nordwestlich von Diekhöfen. Nach Stille.
Maßstab ca. 1 : 33 300.

zontalen Lage *BD* verflachte. Die ungefähre Höhe der ursprünglichen Heraushebung kann aus der Masse des Trümmergipses erschlossen werden. Daß es sich z. T. um recht ansehnliche Höhendifferenzen handelt, geht aus dem von Stille angeführten Beispiel (Abb. 49) hervor, in dem sich aus der Zeichnung zwischen der ursprünglichen Oberfläche des Salzes und der Oberfläche des Gipshutes eine solche von etwa 1700 m ergibt. Bei der Annahme eines Salzauftriebes hingegen wandert die aufsteigende Salzmasse ganz allmählich in das Niveau des Grundwasserspiegels hinein und wird hier in dem Maße, wie sie aufsteigt, abgelautet. Würde die Geschwindigkeit des Aufstieges die der Auflösung zeitweise übertreffen, so könnte der Salzstock auch wohl zeitweise in den Grundwasserspiegel hineinragen oder gar bis über Tage steigen. In diesem

Falle könnten Verhältnisse eintreten, die den Vorstellungen Stilles nahe kämen. Stets aber wird das Bestreben, die Salzoberfläche mit dem Grundwasserspiegel in Übereinstimmung zu setzen, also gewissermaßen ein Gleichgewicht zwischen beiden herzustellen, bestehen bleiben, und Lachmann bezeichnet diese Grenzfläche geradezu als Gleichgewichtsfläche. Schreitet andererseits die Auflösung schneller fort als das Aufsteigen, so führt dies zur Bildung von Salzsümpfen an der Oberfläche, wie sie aus dem nördlichen Louisiana bekannt geworden sind („licks“).

VI. Die Entstehung der primären Salzlager.

Einer Schwierigkeit, die doch bei der Erklärung der Salzlagerstätten von der allergrößten Bedeutung ist, und die schon frühzeitig die Forschung zur Annahme von Hypothesen und Theorien zwang, ist in den vorstehenden Ausführungen noch nicht gedacht worden, nämlich des Widerspruchs zwischen dem Mengenverhältnis der im Meerwasser überhaupt gelösten Salze und jenem der in unsern Zechsteinsalzlagerstätten tatsächlich abgelagerten Salzgesteine. Wenn wir an den beiden Voraussetzungen, daß die Zechsteinsalze die Lösungsrückstände eines ursprünglichen Meeres darstellen, und daß die Zusammensetzung des Meerwassers in vergangenen geologischen Zeiträumen nicht wesentlich verschieden war von der heutiger Meere, festhalten, so ergibt sich aus nachstehender von E. Erdmann berechneter Tabelle, in der die eingeklammerten Zahlen bei Berücksichtigung des liegenden Anhydrits gelten, folgendes Bild dieser Mengenverhältnisse:

	Meerwassersalze Mächtigkeit m	Staßfurter Salze Mächtigkeit m	Salze in % der Meerwassersalze %
Anhydrit	3,369	5,71 (20,41)	169 (606)
Steinsalz	100,000	100,00	100
Kieserit	7,166	4,25	31
Carnallit	13,988	4,68	33
Bischofit	23,526	—	—

D. h. die natürlichen Ablagerungen führen an Steinsalz die dreifache, an Anhydrit mindestens die sechsfache Menge der Rückstände aus verdunstetem Meerwasser. Die Ursachen dieser Abweichungen können nur darin gesucht werden, daß entweder Zuflüsse von Lösungen stattfanden, die wesentlich reicher waren an Calciumsulfat als das Meerwasser, oder aber, daß die an den leichtlöslichen Chloriden und Sulfaten von Magnesium und Kalium angereicherten Endlaugen Gelegenheit fanden zu teilweisem Abfließen, oder schließlich, daß beide Faktoren gleicherweise wirksam waren.

Weniger zur Begründung dieses Mißverhältnisses als zur Erklärung der Mächtigkeit der Salzablagerungen überhaupt hatten G. Bischof und nach ihm C. O. Oxenius einen zunächst unvollständigen Abschluß der gewaltigen, vom Ural bis nach England und Holland und vom Fuß der Skandinavischen Gebirge tief hinein in die Rheinische Tiefe bis zum Neckar etwa reichenden Meeresbucht vom offenen Zechsteinmeer durch Sandbänke bzw. durch eine „Barre“ annehmen zu müssen geglaubt. Diese zwischen Bucht und Ozean geschobenen Riegel sollten vom Meeresgrund soweit aufragen, daß nur zur Zeit der Flut oder auch ständig ein Meerwasserstrom darüber hinweg in die Bucht gelangte, dessen Stärke dem Grad der Verdunstung entsprach. Zu einem bestimmten Zeitpunkt, und zwar nach der langen Ausscheidungsperiode von Calciumsulfat und von Steinsalz, wurde der Verschuß ein vollständiger und schritt die Verdunstung bis zur Ausschei-

dung der Kali- und Magnesiumsalze vor. Eingewehte Tonmassen breiteten sich schließlich schützend über den erstarrten oder erstarrenden Salzbrei, bis aus irgendeinem Grunde die Barre barst, das Meer einbrach und eine Wiederholung des ganzen Vorganges einsetzte. Auf diese Weise ließe sich wohl das Auftreten einer großen Mächtigkeit der Salzablagerung auch bei geringer Beckentiefe sowie einer mehrfach wiederholten Salzfolge erklären, nicht aber die bestehende Abweichung im Mengenverhältnis der Salze. Bei ausschließlichem Zufluß normalen Meerwassers müßte das Verhältnis der ausfallenden Salz mengen stets dem der im Meerwasser gelösten Salze entsprechen.

Anders verhält sich die Sache, wenn neben dem Zustrom normalen Meerwassers die Möglichkeit eines Rückstroms aus der Bucht vorübergehend oder dauernd gegeben war. Unter dieser Voraussetzung hat neuerdings O. Krull eine Erklärung für das Mengenverhältnis der Salzablagerungen gegeben. Krull verweist hierbei auf die Bedingungen, wie sie an der Straße von Gibraltar und an anderen Meerengen bestehen und zwischen teilweise abgeschnürten Meeresteilen und offenem Meer wohl die Regel bilden. Im Mittelmeer ist offenbar die Verdunstung stärker als der Zufluß an Süßwasser, da sein Salzgehalt 3,96 g im Liter beträgt gegenüber 3,6 g im Liter des Atlantischen Ozeans. Die Folge ist eine geringe Senkung des Wasserspiegels gegenüber dem des Ozeans und das Auftreten eines Oberflächenstroms vom Ozean in das Mittelmeerbecken. Die Verdunstung der obersten Wasserschichten führt zur Erhöhung der Konzentration und damit zur Zunahme des spezifischen Gewichts. Die spezifisch schwereren Wasserschichten sinken tiefer und strömen nach Krull entlang der der Meerenge vorgelagerten „Barre“ in das spezifisch leichtere Ozeanwasser ab. Durch diese abwärts und ozeanwärts gerichtete Bewegung bestimmter Wasserschichten entsteht eine Unterströmung, die dauernd konzentrierteres Salzwasser dem Ozean zuführt. Dieser Vorgang vollzieht sich auch noch, wenn die Konzentration im abgeschnürten Becken weiter fortschreitet und wenn schließlich Sättigung an Calciumsulfat und weiterhin auch an Steinsalz eintritt. Dies war in der einstigen Zechsteinbucht der Fall. Durch den ständigen Zustrom normalen Meerwassers und den Abfluß konzentrierter Magnesia- und Kalilaugen blieben diese Sättigungspunkte einerseits genügend beständig, die Calciumsulfat- und Steinsalzmengen andererseits genügend groß, daß sich mächtige Gips- und Steinsalzlager bilden konnten, bevor es zur Sättigung und Ausscheidung von Kali- und Magnesiumsalzen kam. Diese trat ein, wenn die Verdunstung wesentlich stärker wurde als der Zustrom, bzw. wenn dieser mehr und mehr abnahm oder gar völlig unterbunden wurde. Das Verhältnis der verdunstenden zur strömenden Wassermenge regelte die Art der Ausscheidungen, Temperaturschwankungen konnten sie zeitweise beeinträchtigen. Die geschilderten Strömungsverhältnisse an der Meerenge von Gibraltar und deren Ursachen waren bereits Ochsenius bekannt, ohne daß er sie zu einer Erklärung des Mengenverhältnisses der Salze herangezogen hätte, auf die er nirgends eingeht. Ochsenius betont vielmehr ausdrücklich, daß die Salzucht während der ersten Phasen der Salzbildung sicher abflußlos war und erst während der Bildung des Anhydrites die Bittersalze über die Unterkante der „Barre“ entließ.

Joh. Walther wendet gegen die Barretheorie von Ochsenius ein, daß eine „Barre“, wie sie Ochsenius annahm, d. h. eine Barre, die eine tiefe Meeresbucht periodisch schließt und öffnet, weder in der Gegenwart irgendwo existiere, noch aus geologischen Profilen je bekannt geworden sei. Walther hält daher ihre Annahme für nicht zulässig. Er erblickt vielmehr in den klimatischen Verhältnissen, in der Existenz eines kontinentalen Wüstenklimas, sowie in der Abflußlosigkeit des Gebietes die wesentliche Bedingung für die Bildung der Salzlager der Zechsteinzeit, die ganz analog den Salzbildungen in rezen-

ten Wüstengebieten verlaufen mußte. Sie setzte damit ein, daß zur oberen Zechsteinzeit die Verbindung zwischen der großen Meeresbucht und dem offenen Ozean unterbrochen wurde, und daß unter dem Einfluß des Wüstenklimas das Wasser in diesem Becken rasch verdunstete. Hierbei kam es zunächst zur Ausscheidung von Kalksalzen, an die sich eine solche von Steinsalz anschloß. Calciumsulfat und Steinsalz bedeckten in den Randgebieten des Beckens ausschließlich den Boden, während sich die immer konzentrierter werdende Restlauge, in der sich die Kali- und Magnesiumsalze des gesamten Beckens befanden, mehr und mehr nach dem Beckentiefsten oder, da wir eine Gliederung des Bodens in eine größere Zahl von Einzelbecken annehmen können, in diese zurückzog. Gewaltige Regengüsse nahmen dann aus den Randgebieten Calciumsalze und Steinsalz auf und führten sie in Sturzbächen den tiefen Einzelbecken zu, vereinigten sich hier mit den konzentrierten Laugen und verdünnten sie, und es kam hier zu einem erneuten Einengungs- und Ausscheidungsprozeß. Auf die Frage des Mengenverhältnisses in den so entstehenden Salzlagern geht Walther nicht ein, wesentlich für ihn sind, um es nochmals hervorzuheben, lediglich die Feststellungen, daß eine „Barre“ im Sinne von Ochsinius weder besteht noch erforderlich ist, daß ein kontinentales Wüstenklima die Bedingung für die Salzbildung ist, und daß wir diese in den rezenten Wüsten noch heute beobachten, und diese Feststellungen Walthers bestehen auch bei dem heutigen, fortgeschrittenen Stand unserer Kenntnis von der Bildung und Umbildung der Salzlagstätten voll und ganz zurecht.

Dagegen geht E. Erdmann, der sich von der chemischen Seite mit der Frage eingehend befaßte, von dem Mengenverhältnis der Salze aus, auf dessen mangelnde Übereinstimmung er wohl zuerst hingewiesen hat. Erdmann nimmt gleichfalls eine vollständige Unterbrechung der Verbindung zwischen Becken und Ozean sowie eine vollständige Kristallisation der in diesem Becken in Lösung befindlichen Salze an. Erst dann entstanden in dem weiten Salzgebiet durch tektonische Vorgänge einzelne Depressionen, in die alsdann unter andauerndem Sinken die Gewässer „die salzigen Rückstände des früheren Binnenmeeres in gelöstem Zustande auf ein verhältnismäßig kleines Gebiet zusammenführten“. Auch bei dieser Vorstellung konzentrierten sich die gesamten leichtlöslichen Salze naturgemäß im Beckentiefsten, während ringsum erheblich weitere Gebiete ausschließlich mit Steinsalz und Calciumsulfat bedeckt waren.

Für die Beantwortung der Frage, ob sich auf diesem Wege das Überwiegen von Calciumsulfat und Steinsalz erklären läßt, ist nun entscheidend die Lage der entstehenden Einzelbecken in bezug auf das ursprüngliche Beckentiefste. Waren jene mehr randlich angeordnet, dann ist es wohl denkbar, daß die Zuflüsse aus einem Entwässerungsgebiet stammten, in dem lediglich oder doch stark überwiegend Calciumsalze und Steinsalz abgelagert waren, während leichtlösliche Salze nicht oder nur in ungleich geringerem Maße zugeführt wurden. Lagen jene aber selbst im bisherigen Tiefgebiet, d. h. in dem Gebiet, in dem bereits die Konzentration und Kristallisation der leichtlöslichen Kali- und Magnesiumsalze erfolgte, dann mußte jede weitere Senkung in erster Linie diese leichtlöslichen Salze sammeln und das Verhältnis von leichtlöslichen zu schwerlöslichen Salzen stets weiter zuungunsten der letzteren verschieben. In diesem Falle müßte es also notwendigerweise auch zur Bildung von Lagerstätten kommen, in denen das Mengenverhältnis der Kali- und Magnesiumsalze zu Anhydrit und Steinsalz das umgekehrte ist wie in den Staßfurter Ablagerungen. Unsere heutigen geologischen Erfahrungen reichen aber nicht aus, um über die Verteilung der Einzelbecken und ihr Verhältnis zum ursprünglichen Muldentiefsten bestimmte Aussagen zu machen, und ebensowenig sind wir über die Mengenverhältnisse der Salze im Gesamtgebiet der Zechsteinsalzaablagerungen genau

unterrichtet. Es wäre daher zum mindesten sehr hypothetisch, eine ausschließliche oder vorwiegend randliche Anordnung der Einzelbecken für die Erklärung des abweichenden Mengenverhältnisses der Salze heranzuziehen.

Auch M. Rózsa geht von der Annahme eines ursprünglichen großen, vom offenen Ozean abgeschlossenen Beckens aus und erklärt die Mächtigkeit der Steinsalz- und Anhydritablagerungen durch Zusammenziehen der ausgeschiedenen Salze aus dem Bereich ausgedehnter Flächen nach den Tiefgebieten des Beckens. Eine Zergliederung des Beckens erfolgte während des Eintrocknungsprozesses in der Weise, daß einzelne Beckenteile sich senkten, andere gehoben wurden. Zur Erklärung der verschiedenen Ausbildung der Salzablagerungen in den verschiedenen Becken nimmt nun Rózsa an, daß der Einengungsprozeß in den Einzelbecken verschieden weit vorgeschritten war, daß sich also in einem Becken z. B. die Lauge bereits vollkommen verfestigt hatte, während sie in einem benachbarten noch zum großen Teil flüssig war, und daß jetzt eine Hebung des zweiten Beckens von solchem Ausmaß eintrat, daß die Lauge in das Nachbarbecken abfließen konnte. Auf diese Weise möchte Rózsa z. B. die relativ große Mächtigkeit des Anhydrits im Staßfurter und seine relativ geringe Mächtigkeit im Südharz-Bezirk erklären. Im ersteren müßten Laugen leichtlöslicher Salze abgeflossen, im zweiten solche hinzugekommen sein. Abgesehen davon, daß die Erklärung besonders mächtiger Kalilager durch Zufluß an Magnesiumchlorid stark angereicherter Restlaugen unüberwindlichen Schwierigkeiten begegnet, dürften auch gegen die tektonischen Vorstellungen gewichtige Bedenken zu erheben sein.

Auf Grund der vorstehenden Erörterungen ergibt sich für die ursprüngliche Ablagerung der Salze folgendes: Die Ablagerung der Salze vollzog sich in einem großen Meeresbecken, das mit dem offenen Ozean an einer oder an mehreren Stellen durch schmale Zugangsstraßen zunächst in Verbindung stand. Voraussetzung dafür, daß es zur Ausscheidung von Salzen überhaupt kommen konnte, war, wie dies besonders von Joh. Walther betont wurde, ein kontinentales Wüstenklima im Bereich dieses Meeresbeckens. Dieses Klima bewirkte eine starke Verdunstung des Wassers an der Oberfläche, eine zunehmende Konzentration der Salze in den oberen Wasserschichten war die Folge. Sie wurden spezifisch schwerer und sanken unter. Der durch die klimatischen Verhältnisse bedingte Mangel an Süßwasserzuflüssen förderte diese Vorgänge. Auf diese Weise mußte allmählich das spezifische Gewicht des gesamten Meeresbeckens ansteigen. Da zwischen dem fortgesetzt schwerer werdenden Beckeninhalte und dem spezifisch leichteren Ozeanwasser sich isostatisches Gleichgewicht einstellen mußte, trat notwendigerweise eine Niveaudifferenz zwischen beiden Wasserspiegeln ein; der Wasserspiegel im Becken mußte niedriger stehen als im Ozean. Es entstand eine beckenwärts gerichtete Oberströmung. In der Tiefe aber mußten da, wo Beckenwasser und Ozeanwasser einander berührten, die salzreichen, abwärts sich bewegenden Wasser in die salzärmeren hineindiffundieren, d. h. ozeanwärts abwandern. Es entstand eine ozeanwärts gerichtete Unterströmung. Und zwar mußte diese Unterströmung sich einstellen ganz ohne Rücksicht darauf, ob der Verbindungsstelle eine Schwelle vorgelagert war oder nicht. Eine Barre in der Form, wie sie Ochsenius annahm, ist, ganz entsprechend der Auffassung Walthers, auch bei der hier vertretenen Auffassung weder zur Erklärung der Salzbildung erforderlich, noch auch nach den bisherigen Beobachtungen und Erfahrungen wahrscheinlich. Es dürfte überhaupt zweckmäßig sein, die Begriffe Barre und Schwelle scharf zu trennen und ersteren auf die Flußmündungen vorgelagerten Untiefen zu beschränken. Zwischen Becken und Ozean kann es sich nur um auftretende Bodenschwellen handeln. Außer den oben genannten Ursachen sind aber auch Ebbe und Flut sowie Windstau von erheb-

lichem
wohl c
nicht
starke
tausch
erklä
verhä
tigke
Beck
reic
die
zug
na
Ar
bu
a
S

lichem Einfluß auf die Strömungsverhältnisse. Zu einer bestimmten Zeit erfolgte, wohl durch tektonische Vorgänge, eine Abschnürung des Beckens. Diese dürfte nicht sofort eine vollkommene und endgültige gewesen sein, Ebbe und Flut, starker Windstau, Sturmfluten dürften wohl noch lange einen teilweisen Austausch der Gewässer ermöglicht haben. Aus der Summe dieser Strömungen erklären sich, wie dies von Krull geschehen ist, zwanglos Menge und Mengenverhältnis der Salze in unseren Lagerstätten, erklärt sich vor allem die Mächtigkeit von Anhydrit und Steinsalz gegenüber den Kalisalzen. Der Boden des Beckens hat aber unzweifelhaft bereits beim ersten Eindringen des Meeres eine reiche Gliederung besessen, die vor allem bestimmt gewesen sein dürfte durch die alten Gebirgrümpfe, den Harz, den Thüringer Wald, den Flechtinger Höhenzug, das Rheinische Schiefergebirge usw. Daß auch während und unmittelbar nach der Ablagerung tektonische Kräfte wirksam waren, ist anzunehmen. Ihre Arbeit macht es neben der langsam fortschreitenden Senkung des Beckens auch begreiflich, daß es zur Wiederholung des Meereseinbruchs kam, auf die wir aus der jeweils mit erneuter Anhydritablagerung einsetzenden Wiederholung der Salzfolge schließen müssen.

Literaturverzeichnis.

Geologische Karte von Preußen und benachbarten Bundesstaaten im Maßstab 1:25000 nebst Erläuterungen. Herausgegeben von der Preussischen Geologischen Landesanstalt. Berlin.

Die in Frage kommenden Lieferungen sind nicht einzeln aufgeführt.

- Adams, F. D., An experimental investigation into the action of differential pressure on certain minerals and rocks employing the process suggested by Professor Kick. Journ. of Geol. **18**. 1910. 489—585.
- und Coker, E. G., An experimental investigation into the flow of rocks. The flow of marble. Am. Journ. of Science (IV). **29**. 1910. 465—487.
- , An experimental contribution to the question of the depth of the zone of flow in the earth's crust. Journ. of Geol. **20**. 1912. 97—118.
- Ahlburg, J., Die Ergebnisse der neueren Tiefbohrungen im östlichen Holland. Glückauf **44**. 1908. 1205—1218.
- Aigner, A., Die Salzberge von Hallein und Berchtesgaden. Montanist. Rundschau. 1912. 697—700.
- , Die Salzbergbaue in den Alpen von ihrem Beginn bis zur Jetztzeit. Montanist. Rundschau. 1913. 293, 349, 450, 621.
- Albrecht, Th., Die „Steinhuder Meer-Linie“ und ihre Umgebung, ein Beitrag zur Kenntnis der Salzlagerstätten des Nordhannoverschen Flachlandes. Neunter Jahresber. d. Niedersächs. geol. Vereins. 1916. 1—61.
- Andrée, K., Über die geologische Bedeutung des Drucks wachsender Kristalle und die Frage nach dessen physikalischer Erklärung. Sitzungsber. d. Ges. z. Beförderung d. ges. Naturwissensch. zu Marburg. 1911. 1—9.
- , Innere oder äußere Ursachen der Deformationen von Salzgesteinen? (Ein Nachwort an Herrn R. Lachmann). Centralbl. f. Min. 1911. 698—701.
- , Nochmals über die Deformationen von Salzgesteinen. (Schlußwort auf die „Erwiderung“ des Herrn R. Lachmann). Centralbl. f. Min. 1912. 129—132.
- , Die geologische Bedeutung des Wachstumsdruckes kristalliner Substanzen. Geol. Rundschau **3**. 1912. 7—15.
- , Über ein blaues Steinsalz. Kali **6**. 1912. 497.
- , Reine Translation oder abnorme Knickung beim Steinsalz? (Bemerkungen zum Referat von Herrn M. Naumann im Neuen Jahrbuch für Mineralogie. 1913. I. p. 195 über meine Mitteilung „Über ein blaues Steinsalz.“) Centralbl. f. Min. 1913. 696—697.
- , Zum Verhalten des Steinsalzes gegenüber mechanisch deformierenden Kräften. (Zur Kontroverse mit Herrn M. Naumann.) Centralbl. f. Min. 1914. 111—114.
- Andrejew, J., Die Wachstums- und Auflösungsgeschwindigkeit der Kristalle. Zeitschr. f. Kristallogr. **43**. 1907. 39—42.
- D'Ans, J. und Zeh, W., Über Rubidium-calcium-sulfate. Ber. d. D. Chem. Gesellsch. **40**. 1907. 4912—4914.
- , Über Caesium-dicalcium-sulfat. Ber. d. D. Chem. Gesellsch. **41**. 1908. 1776—1777.
- , Neutrale Tripelsulfate des Calciums. Ber. d. D. Chem. Gesellsch. **41**. 1908. 1777—1779.

- D'Ans, J. und Schreiner, O., Untersuchungen über Calcium-Alkalisulfate. *Zeitschr. f. anorgan. Chem.* **62**. 1909. 129—167.
- , Untersuchungen über die Salzsysteme ozeanischer Salzablagerungen. Experimentell bearbeitet mit A. Bertsch und A. Geßner. *Kali* **9**. 1915. 148—154, 161—168, 177—183, 193—200, 217—222, 229—236, 245—250, 261—270.
- Aradi, V., Salz- und Erdöllagerstätten der Süd- und Ostkarpathen. *Allgem. österreich. Chemiker- u. Techniker-Zeitung*. 1908. Nr. 1, 2, 3, 4 u. 6.
- Arlt, Th., Die Entwicklung der Kontinente und ihrer Lebewelt. § 213, Herkunft des Meerwassers. § 214, Herkunft des Meersalzes. Leipzig 1907. Wilh. Engelmann.
- Arnold, R. und Johnson, H. R., Sodium sulphate in Soda Lake, Carriso Plain, San Luis Obispo County, California. *U. S. Geol. Surv. Bull.* **380**. 1909. 369—371.
- Arrhenius, Sv., Zur Physik der Salzlagerstätten. *Meddelanden från K. Vetenskabsakademiens Nobelinstitut*. Bd. II. Nr. 20.
- , Über die physikalischen Bedingungen bei den Salzablagerungen zur Zeit ihrer Bildung und Entstehung. *Kali* **6**. 1912. 361—365.
- u. Lachmann, R., Die physikalisch-chemischen Bedingungen bei der Bildung der Salzlagerstätten und ihre Anwendung auf geologische Probleme. *Geol. Rundschau* **3**. 1912. 139—157.
- Ascherson, P., Verzeichnis der in ihrer Flora bekannten Salzstellen der Provinz Brandenburg. *Jahrb. d. K. Preuß. Geol. Landesanst. für d. Jahr* **1911**. **32**. I. 1913. 494—495.
- Auerbach, A., Bohrlöcher bei Heinrichshall. *Jahresber. d. Gesellsch. f. Naturk. in Gera (Reuß)* **51/52**. 1908/1909. 124—125.
- Barker, Th. V., Untersuchungen über regelmäßige Verwachsungen. *Zeitschr. f. Kristallogr.* **45**. 1908. 1—59.
- Barry und Jacobovics, Die Anwendung des Gefrier- und Zementierverfahrens beim Abteufen des Kalischachtes Wendland. *Glückauf* **49**. 1913. 1885—1892.
- Bärtling, R., Die Ergebnisse der neueren Tiefbohrungen nördlich der Lippe im Fürstlich Salm-Salmschen Bergregalgebiet. *Glückauf* **45**. 1909. 1173—1178, 1209—1218, 1249—1260, 1289—1294.
- , Diskussion zum Vortrag Tornquist: Tektonik Deutschlands und die Beziehung geophysikalischer Verhältnisse und der Ausbreitung der Erdbebenbewegungen zu dieser Tektonik. *Zeitschr. d. D. Geol. Ges.* **64**. 1912. Monatsber. 479—480.
- Baur, E. F., Das Steinsalzlager am unteren Neckar und seine Entstehung. *Inaug. Diss.* Stuttgart 1919.
- Beck, K., Neue Vorkommnisse von Vanthoffit. *Kali* **5**. 1911. 270.
- , Petrographisch-geologische Untersuchung des Salzgebirges der oberen Aller im Vergleich mit dem Staßfurter und Hannoverschen Lagerstättentypus. *Zeitschr. f. prakt. Geol.* **19**. 1911. 289—308.
- , Petrographisch-geologische Untersuchung des Salzgebirges der oberen Aller im Vergleich mit dem Staßfurter und Hannoverschen Lagerstättentypus. *Kali* **5**. 1911. 410—413.
- , Über Kohlensäureausbrüche im Werragebiete der deutschen Kalisalzlagerstätten. *Kali* **6**. 1912. 125—128.
- , Petrographisch-geologische Untersuchung des Salzgebirges im Werra-Fulda-Gebiete der deutschen Kalisalzlagerstätten. *Zeitschr. f. prakt. Geol.* **20**. 1912. 133—158.
- , Petrographisch-geologische Untersuchung des Salzgebirges im Werra-Fulda-Gebiete der deutschen Kalisalzlagerstätten. *Kali* **6**. 1912. 262—265.
- Becke, F., Neuere Vorkommen von den österreichischen Salzlagerstätten. *Tscherm. Min. Petr. Mitt.* **26**. 1907. 132—137.
- Becker, G. F. und Day, A. L., Bemerkungen über die lineare Kraft wachsender Kristalle. *Centralbl. f. Min.* 1916. 337—346, 364—373.
- Behme, Fr., Photographische Aufnahmen in Kalisalzbergwerken. *Kali* **4**. 1910. 483—485.
- Beil, C., Die Ausdehnung des oberrheinischen Kalivorkommens. *Glückauf* **48**. 1912. 1804—1807.
- Bekier, E. und Bruner, L., Zawartość radu w mineralach Kaluskich (La quantité de radium contenue dans les sels potassiques de Kalusz.) *Kosmos, Lemberg*. **36**. 1911. 747—753. *Ref. Geol. Zentralbl.* **17**. 1911/1912. Nr. 324.
- Bender, J., Zur Geschichte des preußischen staatlichen Salzwerks zu Stetten bei Haigerloch in Hohenzollern. *Mitteil. d. Ver. f. Geschichte u. Altertumsk. in Hohenzollern*. **50**. 1916/17. 81—97.
- Bentz, G., Kalisalzvorkommen in Nordamerika. *Zeitschr. f. prakt. Geol.* **21**. 1913. 419—422.
- , Die Versorgung der Vereinigten Staaten von Nordamerika mit Kali. *Glückauf* **49**. 1913. 1291—1296.
- Berger, W., Beitrag zur Kenntnis des Salzgebirges der Gewerkschaft „Einigkeit“ bei Fallersleben (Provinz Hannover). *Siebenter Jahresber. d. Niedersächsischen geol. Vereins*. 1914. 1—33.
- Beyschlag, F., Allgemeine geologische Einführung. In „Deutschlands Kalibergbau“. *Festschrift zum X. Allgemeinen Bergmannstage in Eisenach*. Berlin 1907. K. Geol. Landesanstalt.

- Beyschlag, F., Diskussion zum Vortrag Lachmann „Ekzeme als geologische Chronometer“. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. **64**. 1912. Monatsber. 563—564.
- , Das Salzvorkommen von Hohensalza. Jahrb. d. K. Preuß. Geol. Landesanst. für d. Jahr 1913 **34**. II. 1915. 225—241.
- Biltz, W. und Marcus, E., Über das Vorkommen von Ammoniak und Nitrat in den Kalisalz-lagerstätten. Zeitschr. f. anorgan. Chem. **62**. 1909. 183—202.
- , Über das Vorkommen von Ammoniak und Nitrat in den Kalisalzlagerstätten. Kali **3**. 1909. 189—194.
- , Nachtrag zu der Mitteilung über das Vorkommen von Ammoniak und Nitrat in den Kali-salzlagerstätten. Zeitschr. f. anorgan. Chem. **64**. 1909. 215—216.
- , Nachtrag zu der Mitteilung über das Vorkommen von Ammoniak und Nitrat in den Kali-salzlagerstätten. Kali **3**. 1909. 512.
- , Über das Vorkommen von Kupfer in dem Staßfurter Kalisalzlager. Zeitschr. f. anorgan. Chem. **64**. 1909. 236—244.
- , Über das Vorkommen von Kupfer in dem Staßfurter Kalisalzbergbau. Kali **3**. 1909. 481—483.
- , Analytische Beiträge zur Chemie der Kalisalze und Salztone. Kali **4**. 1910. 497—500.
- , Über die chemische Zusammensetzung der Staßfurter Salztone. Zeitschr. f. anorgan. Chem. **68**. 1910. 91—101.
- , Über Ammoniumcarnallit. Zeitschr. f. anorgan. Chem. **71**. 1911. 166—181.
- , Über Ammoniumcarnallit. Kali **5**. 1911. 497—501.
- , Über die Verbreitung von borsäuren Salzen in den Kalisalzlagerstätten. Zeitschr. f. anorgan. Chem. **72**. 1911. 302—312.
- , Über die chemische Zusammensetzung des roten Salztons. Nach Analysen von E. Marcus. Zeitschr. f. anorgan. Chem. **77**. 1912. 119—123.
- , Über den Lüneburgit. Zeitschr. f. anorgan. Chem. **77**. 1912. 124—130.
- , Über die Konstanz der Kaliumaktivität. Zeitschr. f. anorgan. Chem. **81**. 1913. 369—377.
- Binder, F., Bourcart, E., Burgert, A., Remy, E., Guy de Place, Meunier-Dollfus, Ch., Noelting, E., Venables et Schlumberger, E., Wild, E. und Wyss, G. Mines de potasse de la Haute-Alsace. Bulletin de la Société Industrielle de Mulhouse. 1912. 207—300.
- Böckh, H., Az Erdélyi Medence földgáz tartalmazó antikinálisairól. (Über die Erdgas führenden Antiklinalzüge des Siebenbürger Beckens). Bericht über die Resultate der bisher zur Er-forschung der Erdgasvorkommen des Siebenbürger Beckens vorgenommenen Untersuchungen. I. Teil. Herausgeg. vom K. Ungar. Finanzministerium. Budapest 1911. Ref. Geol. Zentralbl. **17**. 1911/1912. Nr. 1468.
- Boeke, H. E., Physikalisch-chemische und mineralogische Studien über das Vorkommen von Brom und Jod in den Kalisalzablagerungen. Sitzungsber. d. K. Preuß. Akad. d. Wissensch. Berlin 1908. 439—441.
- , Über das Kristallisationsschema der Chloride, Bromide, Jodide von Natrium, Kalium und Magnesium, sowie über das Vorkommen des Broms und Fehlen von Jod in den Kalisalz-lagerstätten. Zeitschr. f. Kristallogr. **45**. 1908. 346—391.
- , Isotrimorphismus von Carnallit und Bromcarnallit. Centralbl. f. Min. 1908. 710—712.
- , Die Kristallisationsschemata der Kalisalze und ihre Anwendung auf das natürliche Vorkommen. „Gaea“ 1909. Heft 6.
- , Rinneit, ein neugefundenes eisenchlorürhaltiges Salzmineral. Centralbl. f. Min. 1909. 72—75.
- , Eine neue Verbindung von Eisenchlorür und Clormagnesium. Kali **3**. 1909. 147.
- , Die künstliche Darstellung des Rinneit auf Grund seines Löslichkeitsdiagramms. Sitzungsber. d. K. Preuß. Akad. d. Wissensch. Math.-phys. Kl. 1909. 632—638.
- , Das Rinneitvorkommen von Wolkramshausen am Südharz. N. Jahrb. f. Min. 1909. II. 19—56.
- , Eine graphische Darstellung der Salzgesteine und ihre Anwendung auf die verbreitetsten Salz-arten. Kali **4**. 1910. 1—5.
- , Eine einfache graphische Anwendungsmethode der Zahlenergebnisse bei van't Hoff's Unter-suchungen zur Bildung der ozeanischen Salzablagerungen. Zeitschr. f. Kristallogr. **47**. 1910. 273—283.
- , Ein Schlüssel zur Beurteilung des Kristallisationsverlaufs der bei der Kalisalzverarbeitung vor-kommenden Lösungen. Kali **4**. 1910. 273—284; 300—307.
- , Übersicht der Mineralogie, Petrographie und Geologie der Kalisalzlagerstätten. Aus „Illustriertes Jahrbuch der Wissenschaft und Technik im deutschen Kalisalz-Bergbau“. Herausgeg. von A. Stange. Berlin 1910. Montan-Verlag.
- , Über die Borate der Kalisalzlagerstätten. Centralbl. f. Min. 1910. 531—539.
- , Über die Eisensalze in den Kalisalzlagerstätten. N. Jahrb. f. Min. 1911. I. 48—76.
- , Räumliche ternäre Kristallisationsmodelle für den Unterricht in physikalisch-chemischer Mineralogie. Centralbl. f. Min. 1912. 257—269.
- , Bemerkung über die Theorie von J. Johnston bezüglich des Verhaltens fester Stoffe unter ungleichförmigem Druck. Centralbl. f. Min. 1913. 321—324.
- , Bildung und Bau der deutschen Kalisalzlagerstätten. „Die Umschau“. 1913. 207—210.
- , Salzlagerstätten. Handwörterb. d. Naturwiss. **8**. 1913. 541—558.

- Boeke, H. E., Über Vierstoffsysteme. *Zeitschr. f. anorgan. u. allgem. Chem.* **98**. 1916. 203—222.
 —, Grundlagen der physikalisch-chemischen Petrographie. Berlin 1915. Gebr. Borntraeger.
- Böggild, O. B., Kristallform und Zwillingbildungen des Kryoliths, des Perowskit² und des Boracits. *Zeitschr. f. Kristallogr.* **50**. 1912. 349—429.
- Borgström, L. H., Approximativ bestämning of några alkalihaloiders kokpunkter (Angenäberta Bestimmung der Siedepunkte einiger Alkalihaloide). *Tidskriften Teknikern Meddelanden från finska kemistsamfundet.* **24**. 1915. Ref. N. Jahrb. f. Min. 1915. II. 298.
- Born, A., Zur Geologie der spanischen Kalisalzlagerstätten. *Zeitschr. f. prakt. Geol.* **25**. 1917. 159—163.
- Brand, H., Das ternäre System Cadmiumchlorid-Kaliumchlorid-Natriumchlorid. *N. Jahrb. f. Min. Beil. Bd.* **32**. 1911. 627—700.
 —, Die binären Systeme Cadmiumjodid-Kaliumjodid und Cadmiumjodid-Natriumjodid. *Centralbl. f. Min.* 1912. 26—32.
 —, Der Kristallisationsverlauf im ternären System Cadmiumbromid-Kaliumbromid-Natriumbromid. *N. Jahrb. f. Min.* 1913. I. 9—27.
- Brandes, Th., Sandiger Zechstein am alten Gebirge an der unteren Werra und Fulda und die Kontinuität des Landwerdens in Mitteldeutschland. *Centralbl. f. Min.* 1912. 660—671.
 —, Die varistischen Züge im geologischen Bau Mitteldeutschlands. (Ein Beitrag zur Kenntnis der Struktur und Paläogeographie des zentralen Deutschlands.) *N. Jahrb. f. Min. Beil. Bd.* **43**. 1919. 190—250.
- Brauns, R., Die Änderung des optischen Axenwinkels in Gyps bei höherer Temperatur. *Centralbl. f. Min.* 1911. 401—405.
- Brecht-Bergen, R., Das Salz- und Bitterseeengebiet zwischen Irtysch und Ob. *Globus* **93**. 1908. 133—139. Ref. *Geol. Zentralbl.* **11**. 1908. Nr. 771.
- Breger, C. L., The salt resources of the Idaho-Wyoming border, with notes on the geology. *U. S. Geol. Surv. Bull.* **430**. 1910. 555—569.
- Bretnütz, A., Untersuchung des Steinsalzes vom Benther Salzgebirge bei Hannover. *Kali* **5**. 1911. 454—459.
- Bruhns, W., Über einige Fragen der neueren Erzlagerstättenforschung. *Festschrift Clausthal.* 1912.
 — u. Mecklenburg, W., Über die sogenannte Kristallisationskraft. *Sechster Jahresber. d. Niedersächs. geol. Vereins.* 1913. 92—115.
 — —, Über die sogenannte Kristallisationskraft. *Centralbl. f. Min.* 1917. 123—127.
- Bruner, M. L. u. Tolloczko, St., Über die Auflösungs geschwindigkeit fester Körper. IV. Mitteilung. *Zeitschr. f. anorgan. Chem.* **56**. 1907. 58—71.
- Brunhöver, K., Die petrographische und chemische Beschaffenheit der Kalisalz lagerstätte Krügershall zu Teutschenthal bei Halle a. d. S. *Inaug.-Diss. Halle-Wittenberg* 1916.
- Bücking, H., Über einige merkwürdige Vorkommen von Zechstein und Muschelkalk in der Rhön. v. Koenen-Festschrift 1907. 1—18.
 —, Magnesit und Pyrit in Steinsalz und Carnallit. *Kali* **5**. 1911. 221.
- Burkart, E., Blaues Steinsalz. *Tscherm. Min. Petr. Mitt.* **29**. 1910. 371.
- Burkhardt, W., Lösungserscheinungen am Anhydrit. *Zeitschr. f. Kristallogr.* **50**. 1912. 209—230.
- Busch, B., Über die Bildung von Fasersteinsalz und Fasergips. *Kali* **4**. 1910. 36—37.
 —, Über die Expansivkraft des Salzes. *Zeitschr. f. prakt. Geol.* **15**. 1907. 369—371.
- v. Buschmann, O., Das Salz, dessen Vorkommen und Verwertung in sämtlichen Staaten der Erde. Leipzig 1906 u. 1909. Wilh. Engelmann.
- Busz, K., Über Kainit von Staffurt und Carnallit von Beienrode. *N. Jahrb. f. Min., Festband* 1907. 115—128.
- Chamberlin, R. T., The physical setting of the Chilean borate deposits. *Journ. of Geol.* **20**. 1912. 763—768.
- Cloos, H., Zur Entstehung schmaler Störungszonen. *Geol. Rundschau* **7**. 1917. 41—52.
- Cornu, F., Über den Pleochroismus des blauen Steinsalzes infolge orientierten Drucks. *Kali* **1**. 1907. 417.
 —, Über den färbenden Bestandteil des grünen Salzes von Hallstadt. *Österreich. Zeitschr. f. d. Berg- und Hüttenwesen* **55**. 1907. 571—572.
 —, Über Pleochroismus, erzeugt durch orientierten Druck am blauen Steinsalz und Sylvin. *Centralbl. f. Min.* 1907. 166—168.
 —, Mineralogische und minerogenetische Beobachtungen. 4. Beitrag zur Kenntnis des blauen Steinsalzes. *N. Jahrb. f. Min.* 1908. I. 32—57.
 —, Noch einmal: Zur Frage der Färbung des blauen Steinsalzes. *Mitt. a. d. mineral.-geol. Inst. der k. k. montanistischen Hochschule in Leoben.* *Centralbl. f. Min.* 1910. 324—331.
- Cox, A. J., The salt industry and resources of the Philippine Islands. *The mineral resources of the Philippine Islands for the year* 1911.
- Dahms, P., Kochsalz und Kochsalzgewinnung im preußischen Ordensstaate. *Schriften d. Naturforsch. Gesellsch. Danzig* **16**. 1916. 15—56.
- Debler, E., Über ozeanische Salzablagerungen. *Inaug.-Diss. Erlangen* 1913.

- Deecke, W., Die Bedeutung salzführender Schichten für tektonische Vorgänge. Ber. d. Naturforsch. Ges. zu Freiburg i. Br. **20**. 1913/14. 81—96.
- Delkeskamp, R., Die Sudsaline zu Volterra (Toskana). Kali **3**. 1909. 285—293.
- , Über die Herkunft des Salzgehaltes der Kochsalzquellen und die Beziehungen desselben zu den Lagerstätten. Kali **3**. 1909. 25—32, 49—58.
- Deutschlands Kalibergbau. Festschrift zum X. Allgemeinen Bergmannstage in Eisenach. Berlin 1907. K. Geolog. Landesanstalt.
- Doelter, C., Über blaues Steinsalz. Tscherm. Min. Petr. Mitt. **28**. 1909. 559—560.
- , Das Radium und die Farben. Dresden 1910. Th. Steinkopff.
- , Über die Ursachen der Färbung des blauen Steinsalzes. Tscherm. Min. Petr. Mitt. **30**. 1911. 143—147.
- , Die Farben der Mineralien, insbesondere der Edelsteine. Braunschweig 1915. Fr. Vieweg u. Sohn.
- Dole, R. B., Exploration of salines in Silver Peak Marsh, Nevada. U. S. Geol. Surv. Bull. **530**. 1913. 330—345.
- Dreibrodt, O., Trennungsapparat nach Prof. Dr. O. Luedecke †. Centralbl. f. Min. 1911. 425—426.
- , Neuer Apparat zur Trennung der Mineralien von Salzgesteinen mit schweren Flüssigkeiten. Kali **6**. 1912. 314—316.
- Dürrfeld, V., Über Glauberit und roten Polyhalit von Vic in Lothringen und Varangéville bei Nancy. Mitteil. d. Geol. Landesanst. f. Elsaß-Lothringen **7**. 1911. 345—348.
- Elster, J. u. Geitel, H., Beiträge zur Kenntnis der Radioaktivität des Kaliums. Kali **4**. 1910. 441—446.
- , Beiträge zur Kenntnis der Radioaktivität des Kaliums. Jahresber. d. Ver. f. Naturw. Braunschweig. **16**. 1910. 115—125.
- Engel, Ch. P., Die Salzvorkommen im östlichen Holland. Zeitschr. f. prakt. Geol. **25**. 1917. 173—174.
- Engel, F., Beitrag zur chemisch-petrographischen Kenntnis der Kalisalzlagerstätte von Salzdettfurth. Inaug.-Diss. Leipzig 1913.
- Erdmann, E., Die Chemie und Industrie der Kalisalze. In „Deutschlands Kalibergbau“. Festschrift zum X. Allgem. Bergmannstage in Eisenach. Berlin 1907. K. Geolog. Landesanstalt.
- , Zur Frage der Entstehung der Kalisalzlagerstätten. Zeitschr. f. angew. Chemie **21**. 1908. 1685—1700.
- , Zur Frage der Entstehung der Kalisalzlagerstätten. Vortrag a. d. IV. Deutschen Kalitag in Nordhausen am 10. Mai 1908. Kali **2**. 1908. 362—369, 387—392, 411—413.
- , Zur Entstehung der deutschen Kalisalzlager. Kali **3**. 1909. 226—227.
- , Über das Vorkommen von Jod in Salzmineralien. Kali **4**. 1910. 117—122.
- , Über das Vorkommen von Jod in Salzmineralien. Zeitschr. f. angew. Chem. **23**. 1910. 342—437.
- , Über heliumhaltige Gase der deutschen Kalilager. Ber. d. D. Chem. Gesellsch. **43**. 1910. 777—782.
- , Zwei neuere Gasausströmungen in deutschen Kalisalzlagerstätten. Kali **4**. 1910. 137—142.
- , Bemerkungen zum Vorkommen von Jod in den deutschen Kalilagern. Zeitschr. f. angew. Chem. **30**. 1917. 86—87.
- , Auftreten von Kohlenoxyd in den Urgasen der Kalisalzbergwerke. Jahrb. d. Halleschen Verbandes für die Erforschung der mitteldeutschen Bodenschätze und ihrer Verwertung. 1. Heft. 1919. 162—165.
- Erdmann, H., Die Katastrophe von Mansfeld und das Problem des Coloradoflusses. Ein Beitrag zur Geschichte der Salzseen und Salzsteppen. Peterm. Mitt. **53**. 1907. 42—46.
- , Über Abbauwürdigkeit von Kalisalzen im Ausland. Kuxen-Zeitung 1910. Ref. Kali **4**. 1910. 100—101.
- Erdmannsdörffer, O. H., Über Koenenit von Sarstedt. Centralbl. f. Min. 1913. 449—450.
- Ernst, Salzvorkommen und Salzgewinnung in Deutsch-Ostafrika. Glückauf **45**. 1909. 1260—1262.
- , Der Natronsee in Deutsch-Ostafrika. Glückauf **47**. 1911. 827—828.
- Everding, H., Zur Geologie der deutschen Zechsteinsalze. In „Deutschlands Kalibergbau“. Festschrift zum X. Allgem. Bergmannstage in Eisenach. Berlin 1907. K. Geolog. Landesanstalt.
- , Der Stand der Salzlagerstättengeologie. Kali **1**. 1907. 460—463.
- Fastert, C., Über das Wachstum von Chlornatriumkristallen. N. Jahrb. f. Min. Beil. Bd. **33**. 1912. 265—324.
- , Über das Wachstum von Chlornatriumkristallen. Kali **6**. 1912. 452—456.
- Feit, Hartsalz, Sylvit, Sylvinit. Kali **1**. 1907. 248—250.
- Ferenczi, St., Einiges über Salzausblühungen des Siebenbürger Beckens. Múzeumi füzetek, Mitteil. a. d. mineralog.-geolog. Sammlung d. siebenbürg. Nationalmuseums. **3**. 1915. 102—106.
- Flach, E., Kaliumchromat und Natriumchromat, ihre Fähigkeit zur Mischkristall- und Doppelsalzbildung und ihre Beziehungen zu den entsprechenden Sulfaten. Inaug.-Diss. Leipzig 1912.
- Förster, B., Kalisalzvorkommen im Oberelsaß. Glückauf **45**. 1909. 257—259.

- Förster, B., Kalisalzlager im Oberelsaß (Bericht). Zeitschr. f. prakt. Geol. **16**. 1908. 517—519.
- , Vorläufige Mitteilung über die Ergebnisse der Untersuchung der Bohrproben aus den seit 1904 im Gange befindlichen Tiefbohrungen im Oligocän des Oberelsaß. Mitteil. d. Geol. Landesanstalt in Elsaß-Lothringen 1909. 127.
- , Über die Kalibohrungen im Ober-Elsaß. Kali **3**. 1909. 1—2.
- , Ergebnisse der Untersuchung von Bohrproben aus den seit 1904 im Gange befindlichen, zur Aufsuchung von Steinsalz und Kalisalzen ausgeführten Tiefbohrungen im Tertiär des Oberelsaß. Mitteil. d. Geol. Landesanstalt in Elsaß-Lothringen **7**. 1911. 349—524.
- , Die geologischen Verhältnisse der Kalisalzlager im Oberelsaß. Jahresberichte und Mitteilungen d. Oberrhein. Geol. Vereins N. F. **2**. 1912. Heft 3.
- Fraas, E., Das Bohrloch von Erlenbach bei Heilbronn. Jahreshefte d. Vereins f. vaterländ. Naturk. in Württemberg. **70**. 1914. 37—42.
- Frank, A., Über das Vorkommen des Jods in den Kalisalzlagern. Zeitschr. f. angew. Chemie **20**. 1907. 1279.
- Frech, Fr., Die Entstehung und Umwandlung der deutschen Salzlager. Umschau **15**. 1911. 909.
- , Die deutschen Kalisalzlagerstätten und ihre Entstehung. Die Naturwissenschaften **5**. 1917. 229—232; 253—257.
- Friedberg, W., Formacya solna w Kossowie (Über die Salzformation in Kossow). Jahresber. d. physiogr. Kommission d. Akad. d. Wissensch. in Krakau f. d. Jahr 1912. **47**. 100—110. Ref. Geol. Zentralbl. **21**. 1914/15. Nr. 414.
- Friedensburg, F., Kalivorkommen außerhalb des Deutschen Reiches. Kali **6**. 1912. 569—593.
- , Kalivorkommen und Kaligewinnungsversuche in den Vereinigten Staaten von Nordamerika. Glückauf **53**. 1917. 397—403, 413—417, 425—429, 445—451, 461—468.
- Fulda, R., Entstehung von Hohlräumen in Gips. Zeitschr. f. prakt. Geol. **17**. 1909. 400—401.
- , Wirkung der Auslaugung der Zechsteinsalze auf die Oberflächengestaltung in der Umgebung des Kyffhäuser. Zeitschr. f. prakt. Geol. **17**. 1909. 25—28.
- Gaal, St., Spuren des tertiären Salzkörpers im Marostal bei Déva. Földtani Közlöny (Geol. Mitteilungen). Zeitschr. d. Ungar. Geol. Ges. **38**. 1908. 727.
- Gagel, C., Beiträge zur Kenntnis des Untergrundes von Lüneburg. Jahrb. d. K. Preuß. Geol. Landesanstalt für d. Jahr 1909. **30**. I. 1911. 165—255.
- , Die Trias von Lüneburg. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. **60**. 1908. Monatsber. 317—322.
- , Flachfallende diluviale Überschiebungen im holsteinischen Zechsteinanhydrit. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. **65**. 1913. Monatsber. 121—140.
- , Diluviale Überschiebungen im Gips von Sperenberg und Segeberg. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. **67**. 1915. Monatsber. 11—25.
- Gale, H. S., The production of borax in 1912. Mineral Resources of the U. S. for 1912. 1913.
- , Nitrate deposits. U. S. Geol. Survey Bull. **523**. 1912.
- , The search for potash in the desert basin region. U. S. Geol. Surv. Bull. **530**. 1913. 295—312.
- , Notes on the Quaternary lakes of the Great Basin, with special reference to the deposition of potash and other salines. U. S. Geol. Surv. Bull. **540**. 1914. 399—406.
- , Prospecting for potash in Death Valley, California. U. S. Geol. Surv. Bull. **540**. 1914. 407—415.
- , Salt, borax, and potash in Saline Valley, Inyo County, California. U. S. Geol. Surv. Bull. **540**. 1914. 416—421.
- , Potash tests at Columbus Marsh, Nevada. U. S. Geol. Surv. Bull. **540**. 1914. 422—427.
- , Sodium sulfate in the Carrizo Plain, San Luis Obispo County, California. U. S. Geol. Surv. Bull. **540**. 1914. 428—433.
- , Borate deposits in Ventura County, California. U. S. Geol. Surv. Bull. **540**. 1914. 434—456.
- , Salines in the Owens, Scarles and Panamint Basins, Southeastern California. U. S. Geol. Surv. Bull. **580**. 1914.
- Gaubert, P., Sur les indices de refraction de quelques minéraux. Bull. de la Soc. franç. de Min. **30**. 1907. 104—108. Ref. N. Jahrb. f. Min. 1908. II. 143.
- Gaufrey, C., Sur la deshydratation du gypse. Comptes Rendus. **158**. 1914. 2006.
- , Sur la deshydratation du gypse. Comptes Rendus. **159**. 1914. 263.
- Geinitz, E., Geologie des Lübtheener Gebirgszuges. Arch. d. Ver. der Freunde der Naturgesch. in Mecklenburg **65**. 1911. 65—70; **66**. 1912. 49—55.
- , Geologische Beobachtungen bei dem Wassereinbruch in Jessenitz. Mitt. d. Großh. Mecklenburg. Geol. Landesanst. **22**. 1912.
- Gemsky, H., Kristallographische und thermische Untersuchung des ternären Systems Bariumchlorid-Kaliumchlorid-Natriumchlorid. N. Jahrb. f. Min. Beil. Bd. **36**. 1913. 513—559.
- Geyer, G., Über eine Salzbohrung am Auermahdsattel, südlich vom Grundlsee. Mitteil. d. Geol. Gesellsch. in Wien **7**. 1914. 323—326.
- Gillitzer, G., Geologie der alpinen Salzlager im Berchtesgadener Gebiet mit besonderer Berücksichtigung der Reichenhaller Soolquellen. Zeitschr. f. prakt. Geol. **22**. 1914. 263—272.
- Ginsberg, A. S., Über die Verbindungen von Magnesium- und Natriumsulfat. Zeitschr. f. anorgan. Chem. **61**. 1909. 122—136.

- Glöckner, Fr., Ein Vorkommen von Kupferkies in Kalisalzen. *Kali* 8. 1914. 307—308.
- Görgey, R., Pleochroitischer Anhydrit von Staßfurt. *Tscherm. Min. Petr. Mitt.* 26. 1907. 141—142.
- , Salzvorkommen aus Hall in Tirol. *Tscherm. Min. Petr. Mitt.* 28. 1909. 334—346.
- , Minerale alpiner Salzlagerstätten. *Tscherm. Min. Petr. Mitt.* 29. 1910. 148—153.
- , Zur Kenntnis der Minerale der Salzlagerstätten. *Tscherm. Min. Petr. Mitt.* 29. 1910. 192—210.
- , Minerale tertiärer Kalisalzlagerstätten. *Tscherm. Min. Petr. Mitt.* 29. 1910. 517—519.
- , Die Entwicklung der Lehre von den Salzlagerstätten. *Geolog. Rundschau* 2. 1911. 278—302.
- , Über das Steinsalz. *Tscherm. Min. Petr. Mitt.* 31. 1912. 664—686.
- , Zur Kenntnis der Kalisalzlager von Wittelsheim im Oberelsaß. *Tscherm. Min. Petr. Mitt.* 31. 1912. 339—468.
- , Über die Salzgesteine der Kalilager von Wittelsheim im Oberelsaß. *Kali* 7. 1913. 320—330.
- , Bericht über die bisherigen Untersuchungen der österreichischen Salzlagerstätten. *Anzeiger d. K. Akad. d. Wissensch. in Wien. Mathem.-naturw. Kl.* 1913. 283—285.
- , Über die alpinen Salzgesteine. *Sitzungsber. d. K. Akad. d. Wissensch. in Wien. Mathem.-naturw. Kl.* 123. 1914. 931—941.
- , Über die Kristallform des Polyhalit. *Tscherm. Min. Petr. Mitt.* 33. 1915. 48—102.
- Grabau, A. W., The origin of salt deposits with special reference to the siluric salt deposits of North America. *Min. and Metal. Soc. America, Bull.* Nr. 57. 1913. 33—44. *Ref. Geol. Zentrbl.* 20. 1913/14. Nr. 251.
- Graefe, Ed., Ein Erdöl aus dem Salzbergwerk „Glückauf“ Sondershausen. *Kali* 4. 1910. 261—263.
- , Zwei Erdöle aus Kalisalzbergwerken. *Centralbl. f. Min.* 1911. 1—4.
- Grahmann, W., Vergleich der Sulfate der Erdalkalien und des Bleies in den Temperatur-Konzentrationsdiagrammen mit Kaliumsulfat unter Berücksichtigung der Dimorphie von Anhydrit, Coelestin, Baryt und Anglesit. *Zeitschr. f. anorgan. Chem.* 81. 1913. 257—314.
- Grandinger, H., Ein neues Vorkommen von Kieseritkristallen. *Centralbl. f. Min.* 1917. 49—51.
- Gräßner, Entstehung und Bedeutung der Kalisalzlager. *Jahrb. d. Landwirtschaftl. Ges.* 27. 1912. 363—373.
- Gropp, Gasvorkommen in Kalisalzbergwerken in den Jahren 1907—1917. *Zeitschr. f. d. Berg-, Hütten- und Salinenwesen im preuß. Staate* 66. 1918. 238—257.
- , Gasvorkommen in Kalisalzbergwerken in den Jahren 1907—1917. *Kali* 18. 1919. 33—42, 70—76.
- Groß, R., Zur Frage der Gyroedrie des Steinsalzes. *Centralbl. f. Min.* 1918. 1—19.
- Groth, P., Chemische Kristallographie. I. und II. Teil. Leipzig 1906 und 1908. Wilh. Engelmann.
- Grünwald, W., Zur Kenntnis der ozeanischen Salzablagerungen. *Inaug.-Diss.* Erlangen. 1913.
- Grupe, O., Die Zechsteinvorkommen im mittleren Weser-Leine-Gebiet und ihre Beziehungen zum südhannoverschen Zechsteinsalzlager. *Jahrb. d. K. Preuß. Geol. Landesanst. für d. Jahr* 1908. 29. I. 1909. 39—57.
- , Präligocäne und jungmiocäne Dislokationen und tertiäre Transgressionen im Solling und seinem nördlichen Vorlande. *Jahrb. d. K. Preuß. Geol. Landesanst. für d. Jahr* 1908. 29. I. 1909. 612—644.
- , Die stratigraphischen und tektonischen Ergebnisse der neueren Kalibohrungen im hannoverschen Eichsfelde und angrenzenden Gebiete des Leinetales. *Zweiter Jahresber. des Niedersächs. geol. Vereins.* 1909. V—X.
- , Über die Zechsteinformation und ihre Salzlager im Untergrunde des hannoverschen Eichsfeldes und angrenzenden Leinegebietes nach den neueren Bohrergebnissen. *Zeitschr. f. prakt. Geol.* 17. 1909. 185—205.
- , Zur Plattendolomitfrage. *Zeitschr. d. D. Geol. Ges.* 63. 1911. Monatsber. 629—631.
- , Diskussion zum Vortrag Lachmann: „Ekzeme als geologische Chronometer“. *Zeitschr. d. D. Geol. Ges.* 64. 1912. Monatsber. 564—565.
- , Zur Tektonik und Stratigraphie des Hildesheimer Waldes. Nach einem Vortrag, gehalten auf der Frühjahrs-Hauptversammlung des Niedersächsischen geologischen Vereins in Hannover am 17. April 1914. *Siebenter Jahresber. d. Niedersächs. geol. Vereins.* 1914. 145—200.
- Haack, W., Der Teutoburger Wald südlich von Osnabrück. *Jahrb. d. K. Preuß. Geol. Landesanst. f. d. Jahr* 1908. 29. I. 1909. 458—531.
- Häberle, D., Die Herkunft der Salzquellen im Rotliegenden des Alsenz-, Glan- und Nahegebietes. *Jahresber. u. Mitteil. d. Oberrhein. Geol. Ver.* 2. 1912. 119—126.
- Haga, H. und Jaeger, F. M., Röntgenspectras of Boracite, obtained above and below its inversion-temperature. *Proc. K. Akad. van Wetensch. Amsterdam.* 16. 1914. 792—799.
- , Over Röntgenogrammen van den Boraciet, boven en beneden zynit omsettingstemperatuur. (Über Röntgenogramme des Boracits oberhalb und unterhalb seiner Umwandlungstemperatur.) *Versl. K. Akad. van Wetensch. Amsterdam.* 22. 1914. 725—732. *Ref. N. Jahrb. f. Min.* 1915. I. 13.
- Hahn, F. F., The form of salt deposits. *Econ. Geology* 7. 1912. 120—135.
- Hance, J. H., Potash in western saline deposits. *U. S. Geol. Surv. Bull.* 540. 1914. 457—469.
- Handbuch der Kalibergwerke, Salinen und Tiefbohrunternehmungen 1918. Berlin 1918. Verlag der Kuxen-Zeitung.

- Harbort, E., Ein geologisches Querprofil durch die Kreide-, Jura- und Triasformation des Bentheim-Isterberger Sattels. v. Koenen-Festschrift. 1907. 471—515.
- , Beiträge zur Kenntnis präoligozäner und cretacischer Gebirgsstörungen in Braunschweig und Nordhannover. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. **61**. 1909. Monatsber. 381—391.
- , Zur Geologie der nordhannoverschen Salzhorste. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. **62**. 1910. Monatsber. 326—341.
- , Über die Verbreitung von Jura, Kreide und Tertiär im Untergrunde des Diluviums der Umgebung von Neustadt a. Rbg. und Nienburg a. W. Jahrb. d. K. Preuß. Geol. Landesanst. für d. Jahr 1910. **31**. I. 1913. 1—36.
- , Über Richard Lachmanns Salzgeschwüre. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. **63**. 1911. Monatsber. 267—276.
- , Beiträge zur Geologie der Umgebung von Königslutter und zur Tektonik des Magdeburg-Halberstädter Beckens. Jahrb. d. K. Preuß. Geol. Landesanst. für d. Jahr 1913. **34**. I. 1915. 206—267.
- , Neu- und Umbildungen im Nebengestein der norddeutschen Salzstöcke. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. **65**. 1913. Monatsber. 6—15.
- , Diskussion zum Vortrag Seidl: Über die Steinsalzablagerungen des oberen Zechsteins bei Schönebeck nach den Grubenaufschlüssen des Graf Moltke-Schachtes. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. **65**. 1913. Monatsber. 60—62.
- , Nachträgliche Bemerkungen zu meiner Kritik der Lachmannschen Ekzemtheorie. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. **65**. 1913. Monatsber. 101—107.
- , Über den Salzgehalt der Nebengesteine an den norddeutschen Salzstöcken. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. **65**. 1913. Monatsber. 108—112.
- , Zur Frage der Aufpressungsvorgänge und des Alters der nordwestdeutschen Salzvorkommen. Vortrag gehalten auf der Kalihauptversammlung zu Göttingen am 10. Juni 1912. Kali **7**. 1913. 112—121.
- , Zur Frage der Genesis der Steinsalz- und Kalisalzagerstätten im Tertiär von Oberelsaß und Baden. Zeitschr. f. prakt. Geol. **21**. 1913. 189—198.
- , Diskussion zum Vortrag C. Schmidt: „Die Kalisalze in Katalonien“. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. **66**. 1914. Monatsber. 340—342.
- , Über zonar in Steinsalz und Kainit aus dem Kalisalzbergwerk Aller-Nordstern eingewachsene Magnetkies-Kristalle. Kali **9**. 1915. 250—253.
- Harris, G. D., The geological occurrence of rock salt in Louisiana and East Texas. Economic Geology **4**. 1909. 12—34.
- , Oil and gas in Louisiana with a brief summary of their occurrence in adjacent states. U. S. Geol. Surv. Bull. **429**. 1910.
- Hennicke, R., Über Fasercarnallit. Kali **8**. 1914. 133—134.
- Henriot, E. und Vavon, G., Sur la radioactivité des sels de potassium. Comptes Rendus. **149**. 1909. 30—32.
- Hentze, E., Tabellarische Übersicht der wichtigsten Minerale der Kalisalzagerstätten. Kali **11**. 1917. 246—247.
- Herbing, Die Erdgasquelle bei Kissármás in Siebenbürgen. Braunkohle **11**. 1912. 289—293.
- , Ist in Siebenbürgen neben dem Erdgas mit Kali- und Petroleumfunden zu rechnen? Glückauf **49**. 1913. 403—411.
- Heyne, G., Über die Eisenchlorürdoppelsalze des Rubidiums und Caesiums und Untersuchungen über Vorkommen und Verteilung des Rubidiums in deutschen Kalisalzagerstätten. Inaug. Diss. Göttingen 1912.
- Hlawatsch, C., Thenardit als Absatz aus Kesselwasser. Tscherm. Min. Petr. Mitt. **31**. 1912. 89—95.
- v. Höfer, H., Der Gasausbruch von Kissármás und die Argille scagliose. Internat. Zeitschr. d. Bohring. **19**. 1912. Ref. Geol. Zentralbl. **18**. 1912/13. Nr. 235.
- , Allgemeine Geologie der Salzagerstätten. Berg- und Hüttenmänn. Jahrb. **67**. 1919. 219—274. Ref. Geol. Zentralbl. **24**. 1920. Nr. 1043.
- Hoffmann, F., Über die Darstellung und Umwandlung von Atom- bzw. Molekularprozenten und Gewichtsprozenten in multiplen Systemen. Metallurgie **9**. 1912. 133—142.
- Hoehne, E., Salzquellen und Salzmoore in der Asse und am Heeseberge. Vorläufige Mitteilung. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. **62**. 1910. Monatsber. 260—261.
- , Stratigraphie und Tektonik der Asse und ihres östlichen Ausläufers, des Heeseberges bei Jerxheim. Jahrb. d. K. Preuß. Geol. Landesanst. für d. Jahr 1911. **32**. II. 1914. 1—105.
- Honsell, H., Die ehemalige Saline Mosbach und deren Solquellen. Verhandl. d. Naturw. Ver. Karlsruhe **23**. 1909/10. 1—15.
- Hutchinson, A. und Tutton, A. E. H., Über die Temperatur der optischen Einaxigkeit von Gyps. Zeitschr. f. Kristallogr. **52**. 1913. 218—224.
- Jaeckel, O., Diskussion zum Vortrag Tornquist: Tektonik Deutschlands und die Beziehung geophysikalischer Verhältnisse und der Ausbreitung der Erdbebenbewegungen zu dieser Tektonik. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. **64**. 1912. Monatsber. 478—479.

- Jänecke, E., Über eine neue Darstellungsform der wässerigen Lösungen zweier und dreier gleich-ioniger Salze, reziproker Salzpaare und der van't Hoff'schen Untersuchungen über ozeanische Salzablagerungen. *Zeitschr. f. anorgan. Chemie* **51**. 1906. 132—158.
- , Über eine neue Darstellungsform der van't Hoff'schen Untersuchungen über ozeanische Salzablagerungen. II. *Zeitschr. f. anorgan. Chemie* **52**. 1907. 358—367.
- , Über eine neue Darstellungsform der van't Hoff'schen Untersuchung über ozeanische Salzablagerungen. III (Schluß). *Zeitschr. f. anorgan. Chemie* **53**. 1907. 319—326.
- , Ergänzung zu der neuen Darstellungsform der van't Hoff'schen Untersuchungen. *Zeitschr. f. anorgan. Chemie* **54**. 1907. 319—321.
- , Die Untersuchungen van't Hoff's über die Bildung der ozeanischen Salzablagerungen in einer neuen Darstellungsform. *Kali* **1**. 1907. 201—210.
- , Über reziproke Salzpaare. I. *Zeitschr. f. physikal. Chemie* **64**. 1908. 305—327.
- , Das reziproke Salzpaar $\text{NaCl}-\text{K}_2\text{SO}_4$; $\text{KCl}-\text{Na}_2\text{SO}_4$. *Zeitschr. f. physikal. Chemie* **64**. 1908. 343—356.
- , Die Schmelzen des reziproken Salzpaars $\text{Na}_2\text{SO}_4-\text{K}_2\text{Cl}_2$; $\text{K}_2\text{SO}_4-\text{Na}_2\text{Cl}_2$. *Kali* **2**. 1908. 207—212.
- , Gesättigte Salzlösungen vom Standpunkt der Phasenlehre. Halle a. S. 1908. W. Knapp.
- , Die Entstehung der deutschen Kalisalzlager. *Die Naturwissenschaften* **7**. 1909. 619—625; 636—639.
- , Bemerkungen zu dem Aufsätze von H. E. Boeke. (Eine einfache graphische Anwendungsmethode der Zahlenergebnisse usw.); sowie Erwiderung von H. E. Boeke. *Zeitschr. f. Kristallogr.* **47**. 1910. 647.
- , Über die Bildung von Konversionssalpeter vom Standpunkt der Phasenlehre. *Zeitschr. f. anorgan. Chemie* **71**. 1911. 1—18.
- , Einige Bemerkungen zu dem Aufsatz: Ein Schlüssel zur Beurteilung des Kristallisationsverlaufs der bei der Kalisalzverarbeitung vorkommenden Lösungen von H. E. Boeke. *Kali* **5**. 1911. 8—10.
- , Eine graphische Darstellung der Gewichtsverhältnisse bei den ozeanischen Salzablagerungen. *Kali* **6**. 1912. 255—258.
- , Über die Gewichts- und Molekül- oder Atomprozentage in Zwei- und Dreistoffsystemen. *Metallurgie* **9**. 1912. 320—324.
- , Über reziproke Salzpaare II. Das Salzpaar $\text{K}_2\text{Cl}_2-\text{MgSO}_4$; $\text{MgCl}_2-\text{K}_2\text{SO}_4$. *Zeitschr. f. physikal. Chemie* **80**. 1912. 1—12.
- , Über die Schmelzen der Salzmischungen $\text{KCl}-\text{MgSO}_4$; $\text{MgCl}_2-\text{K}_2\text{SO}_4$ und ein neues Kalisalz KClMgSO_4 . *Kali* **7**. 1913. 137—143.
- , Vorschläge zur Fortsetzung der van't Hoff'schen Forschungen. *Kali* **7**. 1913. 393—396.
- , Über reziproke Salzpaare und doppelt-ternäre Salzmischungen. *Zeitschr. f. physikal. Chemie* **82**. 1913. 1—34.
- , Über reziproke Salzpaare und doppelt-ternäre Salzmischungen. *Eight international congress of applied chemistry*. Vol. XXVI. 1913. 571—597.
- , Einige neue Modelle der van't Hoff'schen Untersuchungen ozeanischer Salzablagerungen. *Siebenter Jahresber. d. Niedersächsischen geol. Vereins*. 1914. 59—70.
- , Über Dreistoffsysteme mit drei Bodenkörpern besonderer Art. Die Systeme (Ba—K—Na) Cl, Mg—Cd—Zn und ähnliche. *N. Jahrb. f. Min. Beil.* **38**. 1914. 501—512.
- , Die Entstehung der deutschen Kalisalzlager. *Sammlung „Die Wissenschaft“*. Bd. **59**. Braunschweig 1915. Fr. Vieweg u. Sohn.
- , Über die Umwandlungserscheinungen der isomorphen Mischungen von $\text{KCl}-\text{NaCl}$ und $\text{AgCl}-\text{NaCl}$ und deren vollständiges Zustandsdiagramm. *Zeitschr. f. physikal. Chemie* **90**. 1915. 296—312.
- , Über die Bestimmung der Schmelzpunkte von $\frac{1}{2}\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$; $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; der Hydrate von CuSO_4 und von Carnallit mit Hilfe des elektrisch heizbaren Druckapparats. *Zeitschr. f. physikal. Chemie* **90**. 1915. 265—279.
- , Über die Umwandlung von Na_2SO_4 . Vorläufige Mitteilung. *Zeitschr. f. physikal. Chemie* **91**. 1916. 548—570.
- , Die Umwandlung von Na_2SO_4 . *Zeitschr. f. physikal. Chemie* **91**. 1916. 676—686.
- , Über das Schmelzen kristallwasserhaltiger Kalisalze und Salzgemische. *Kali* **10**. 1916. 371—375; **11**. 1917. 10—13; 21—26.
- , Einige kurze Bemerkungen über die Ausscheidung und Thermometamorphose der Zechsteinsalze nach der Auffassung von Rózsa. *Zeitschr. f. anorgan. u. allgem. Chemie* **99**. 1917. 1—4.
- , Vollständige Übersicht über die Lösungen ozeanischer Salze. I—IV. *Zeitschr. f. anorgan. u. allgem. Chemie* **100**. 1917. 161—236. **102**. 1918. 41—65. **103**. 1918. 1—54.
- , Vollständige Übersicht über die Lösungen ozeanischer Salze. *Kali* **13**. 1919. 161—164; 182—189.
- , Neues über die Entstehung des Kalilagers. *Industrie* 1919. 1—2.
- , Neues über die Entstehung der deutschen Kalisalzlager. *Jahrb. des Halleschen Verbandes f. d. Erforschung der mitteldeutschen Bodenschätze u. ihrer Verwertung*. Heft **1**. 1919. 56—66.

- Jänecke, E., Über das System Bariumchlorid—Kaliumchlorid—Natriumchlorid. Erwiderung. Centralbl. f. Min. 1919. 271—274.
- , Kurze Bemerkung zu dem Aufsatz von Herrn Erh. Vortisch über die Mischkristalle (K, Na) Cl in ternären Systemen. Centralbl. f. Min. 1919. 358.
- , „Kaliindustrie“. Encyklopädie der technischen Chemie. Band IV. 1919. 565—578.
- , Über die Entstehung der deutschen Kalilager. Vortrag, gehalten am 1. März 1919 im Hannoverischen Bezirksverein deutscher Chemiker. Zeitschr. f. angew. Chem. 1919. I. 178—181.
- , Über die Art, die Lösungen von Kalisalzen graphisch darzustellen. Kali 14. 1920. 140—147; 158—165; 176—184.
- , Das System (K₂—Mg) (Cl₂—SO₄). Jahrb. d. Halleschen Verbandes f. d. Erforschung der mitteldeutschen Bodenschätze und ihrer Verwertung. Heft 2. 1920.
- Jentzsch, A., Geologisches über Salzpflanzen des norddeutschen Flachlandes. Jahrb. d. K. Preuß. Geol. Landesanst. für d. Jahr 1911. 32. I. 1913. 487—493.
- Johnsen, A., Beiträge zur Kenntnis der Salzlager. I. Regelmäßige Verwachsung von Carnallit und Eisenglanz. Centralbl. f. Min. 1909. 168—173.
- , Über die Entstehung von Wasserstoffgas in Kalisalzlagerstätten. Kali 3. 1909. 118—119.
- , Wachstum und Auflösung der Kristalle. Vortrag gehalten auf d. 82. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte in Königsberg. 1910.
- , Künstliche Translationen am Bittersalz. Centralbl. f. Min. 1915. 33—38.
- Johnston, A. A., Hexahydrite, a new mineral. Summary Report Geol. Survey, Branch of the Depart. of Mines Canada. 1911. 256. Ref. N. Jahrb. f. Min. 1913. I. 23.
- Johnston, J. und Adams, L. H., Die Dichte fester Stoffe mit besonderer Berücksichtigung der durch hohe Drucke hervorgerufenen dauernden Änderungen. Zeitschr. f. anorgan. Chemie 75. 1912. 274—302.
- , Über den Einfluß hoher Drucke auf das physikalische und chemische Verhalten fester Stoffe. Zeitschr. f. anorgan. Chemie 80. 1913. 281—334.
- Jonker, H. G., Nieuwe opvattingen over de geologie der Zechsteinzouten en de beteekenis daarvan voor het voorkomen van zoutlagen in Nederland. (Neue Auffassungen über die Geologie der Zechsteinsalze und ihre Bedeutung für das Salzvorkommen in Nederland.) Chemisch Weekblad, Amsterdam. 7. 1910. 741—755. Ref. Geol. Zentralbl. 15. 1911. Nr. 991.
- Jütland, Salzfund in. Kali 4. 1910. 126.
- Kaiser, E., Das Steinsalzvorkommen von Cardona in Catalonien. N. Jahrb. f. Min. 1909. I. 14—26.
- Kalibohrungen auf badischem Gebiete. Zeitschr. d. Internation. Ver. d. Bohring. 20. 1913. 60.
- Kalifunde in Baden. Zeitschr. d. Internat. Ver. d. Bohring. 20. 1913. 95.
- Kalischürfungen in Ungarn. Ungar. Montan-, Industrie- und Handelszeitung 17. 1911. Nr. 13. — Dgl. Organ d. Ver. d. Bohrtechniker. 1911. 111—112.
- Karau, Die Geschichte des deutschen Kalibergbaues in den letzten 25 Jahren, verbunden mit einem Rückblick auf seine Entstehung und die Bildung der Salzlagerstätten. Kali 7. 1913. 295—301.
- v. Kármán, Festigkeitsversuche unter allseitigem Druck. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 55. II. 1911. 1749—1757.
- Keilhack, H., Erdgeschichtliche Entwicklung und geologische Verhältnisse der Gegend von Magdeburg. Magdeburg 1909.
- Keitel, H., Über die ternären Systeme aus Lithium-, Kalium-, Rubidiumchlorid und Kalium-, Rubidium-, Caesiumchlorid. Erscheint im N. Jahrb. f. Min.
- Kellner, G., Die binären Systeme aus den Bromiden der Alkali- und Erdalkalimetalle. Zeitschr. f. anorgan. u. allgem. Chem. 99. 1917. 137—183.
- King, L. V., On the limiting strength of rocks under conditions of stress existing in the earth's interior. Journ. of Geol. 20. 1912. 119—138.
- Kirschmann, W., Die Lagerungsverhältnisse des oberen Allertales zwischen Morsleben und Walbeck. Zeitschr. f. prakt. Geol. 21. 1913. 1—27.
- , Die Lagerungsverhältnisse des oberen Allertales zwischen Morsleben und Walbeck. Kali 8. 1914. 185—196.
- Kleinhanns, K., Die Abhängigkeit der Plastizität des Steinsalzes vom umgebenden Medium. Vorläufige Mitteilung. Physikal. Zeitschr. 15. 1914. 362—363.
- Kling, P., Das Tachhydritvorkommen in den Kalisalzlagerstätten der Mansfelder Mulde. Inaug.-Diss. Halle-Wittenberg 1913.
- , Das Tachhydritvorkommen in den Kalisalzlagerstätten der Mansfelder Mulde. Centralbl. f. Min. 1915. 44—50.
- Koch, G. A., Zur Genesis der Versuchsbohrungen auf Kalisalze, Petroleum und Erdgase in Siebenbürgen. Ungar. Montan-, Industrie- und Handelszeitung 17. 1911. Nr. 5.
- Koelichen, K., Über ein Jodvorkommen im Kalisalzlager. Kali 7. 1913. 457—459.
- v. Koenen, A., Geologischer Bau des Leinetales. Vortrag auf der II. Kali-Hauptversammlung. Zeitschr. f. angewandte Chem. 1912. 1734.

- Kohl, E., Die Entwicklung des Kalibergbaues im Oberelsaß. Glückauf **56**. 1920. 205—209, 232—236.
- Kolb, R., Vergleich von Anhydrit, Cölestin, Baryt und Anglesit in bezug auf die Veränderung ihrer geometrischen und optischen Verhältnisse mit der Temperatur. Zeitschr. f. Kristallogr. **49**. 1911. 14—61.
- Korreng, E., Über die Herstellung von Dünnschliffen und Dauerpräparaten aus salzartigen, aus dem Schmelzfluß kristallisierten Stoffen. Centralbl. f. Min. 1913. 408—412.
- , Kristallographische und thermische Untersuchung von binären Systemen aus Thallochlorid und Chloriden zweiwertiger Metalle. N. Jahrb. f. Min. Beil. Bd. **37**. 1914. 51—124.
- , Das binäre System Lithiumchlorid-Caesiumchlorid. Zeitschr. f. anorgan. Chem. **91**. 1915. 194—208.
- Kossmat, E., Beitrag zur Tektonik der Kalisalzlagerstätte von Kalusz (Ostgalizien). Jahrb. d. K. K. Geol. Reichsanst. Wien. **63**. 1913. 171—193.
- Kraus, E. H. u. Youngs, L. J., Über die Änderungen des optischen Achsenwinkels in Gips mit der Temperatur. N. Jahrb. f. Min. 1912. I. 123—146.
- , Die Änderungen des optischen Axenwinkels im Glauberit mit der Temperatur. Zeitschr. f. Kristallogr. **52**. 1913. 321—326.
- Kraze, K., Vorkommen und Nachweis von Jod in einigen natürlichen Salzmineralien. Inaug.-Diss. Halle-Wittenberg 1909.
- Kreermann, R., Über die Fortexistenz von Doppelsalzen, im besondern von Carnallit und Schönit in wässriger Lösung. Jahrb. d. K. K. Geol. Reichsanst. Wien. **58**. 1908. 71—78.
- Kreutz, St., Über Sylvinkristalle aus Kalusz und über die Strukturverhältnisse des Sylvin. Anz. d. Akad. d. Wissensch. Krakau. Math. nat. Kl. A. Math. Wissensch. Nr. 5A. Mai 1912. 400—415.
- , Beiträge zur Kenntnis der in enantiomorphen Formen kristallisierenden Substanzen. Zeitschr. f. Kristallogr. **51**. 1912. 209—245.
- Krische, P., Die Entwicklungsgeschichte der Chemie des Kalis (Kaliums). Kali **2**. 1908. 425—428.
- , Die Kalianalyse. Kali **3**. 1909. 122—126; 148—153.
- , Welche Kalimengen werden durch die sämtlichen Flüsse der Erde jährlich dem Meere zugeführt? Kali **3**. 1909. 75—76.
- , Die Kalisalze, das vornehmste deutsche Naturmonopol. Kali **4**. 1910. 98—100.
- Krull, O., Beiträge zur Geologie der Kalisalzlager. Kali **11**. 1917. 227—231.
- , Die Geologie der deutschen Kalisalzlager nach dem heutigen Stande der Forschung. Kali **13**. 1919. 277—281; 296—304; 317—322.
- Krusch, P., Diskussion zum Vortrag Lachmann: „Ekzeme als geologische Chronometer.“ Zeitschr. d. D. Geol. Ges. **64**. 1912. Monatsber. 566—567.
- Kukuk, P., Der südlichste Zechsteinaufschluß im Deckgebirge des rechtsrheinischen Steinkohlenbezirks. Glückauf **48**. 1912. 908—910.
- , Beitrag zur Kenntnis des unteren Zechsteins im Niederrheingebiet. Glückauf **49**. 1913. 1003—1008.
- Kunze, H. H., Über schmelzflüssigen Carnallit. Inaug.-Diss. Berlin 1912.
- Kurnakow, N. S. u. Zemcžužnyj, S. F., Isomorphismus der Kalium- und Natriumverbindungen. Zeitschr. f. anorgan. Chem. **52**. 1907. 186—201.
- Lachmann, R., Studien über den Bau von Salzmassen. Kali **4**. 1910. 161—172; 188—192; 477—483; 500—506; 517—532.
- , Der Salzauftrieb. Geophysikalische Studien über den Bau der Salzmassen Norddeutschlands. Erste und zweite Folge. Sonderabdruck aus Kali **4**. 1910. Heft 8, 9, 22, 23, 24. Halle a. S. 1911. W. Knapp.
- , Die Natur des Everdingschen deszendenten Hauptsalz-Konglomerats. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. **62**. 1910. Monatsber. 318—321.
- , Salinare Spalteneruption gegen Ekzemtheorie. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. **62**. 1910. Monatsber. 597—601.
- , Probleme der Kali-Geologie. Glückauf **47**. 1911. 1028—1030.
- , Hauptprobleme der Kaligeologie. Monatshefte f. d. naturw. Unterricht. **4**. 1911. 225—229.
- , Erich Harbort im Streit gegen die Ekzeme. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. **63**. 1911. Monatsber. 489—497.
- , Über diagenetische Deformationen von Salzgesteinen. Entgegnung an Herrn Andréé. Centralbl. f. Min. 1911. 534—536.
- , Diskussion zum Vortrag Tornquist: Tektonik Deutschlands und die Beziehung geophysikalischer Verhältnisse und der Ausbreitung der Erdbebenbewegungen zu dieser Tektonik. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. **64**. 1912. Monatsber. 477—478.
- , Über autoplaste (nichttektonische) Formelemente im Bau der Salzlagerstätten Norddeutschlands. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. **62**. 1910. Monatsber. 113—116.
- , Ekzeme als geologische Chronometer. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. **64**. 1912. Monatsber. 553—562.
- , Weiteres zur Frage der Autoplastie der Salzgesteine. Erwiderung auf das „Nachwort“ von Herrn K. Andréé. Centralbl. f. Min. 1912. 46—48.

- Lachmann, R., Zur Beendigung der Diskussion mit Herrn K. Andrée. *Centralbl. f. Min.* 1912. 256.
- , Über die Bildung und Umbildung von Salzgesteinen. 90. Jahresber. d. Schles. Ges. f. vaterländ. Kultur. 1912. I. Bd. VI. Abt. 7—8.
- , Der Bau des niederhessischen Berglandes bei Hundelshausen. 90. Jahresber. d. Schles. Ges. f. vaterländ. Kultur. 1912. I. Bd. VI. Abt. 13—61.
- , Beiträge zur Plastizitätsfrage. *Centralbl. f. Min.* 1912. 745—757.
- , Ein vollkommen plastisch deformierter Steinsalzkristall aus Boryslaw in Galizien. *Zeitschr. d. D. Geol. Ges.* 64. 1912. Monatsber. 426—429.
- , Über einen vollkommen plastisch deformierten Steinsalzkristall von Boryslaw in Galizien. *Zeitschr. f. Kristallogr.* 52. 1913. 137—150.
- , Studien über den Bau von Salzmassen. Dritte Folge. *Physikalische Kräfte im Salz. Kali* 6. 1912. 342—353; 366—375; 398—401; 418—431.
- , Der Salzauftrieb. Geophysikalische Studien über den Bau der Salzmassen in Norddeutschland. Dritte Folge. Sonderabdruck aus *Kali* 6. 1912. Heft 14, 15, 16, 17. Halle a. S. 1912. W. Knapp.
- , Über den heutigen Stand der Ekzemfrage. Vortrag gehalten in der Sitzung des Niedersächsischen geol. Vereins zu Hannover am 15. Februar 1913. *Kali* 7. 1913. 161—164.
- , Der Bau des Reihenekzems an der oberen Aller. *Zeitschr. f. prakt. Geol.* 21. 1913. 28.
- , Analogien zwischen alpiner und salinärer Tektonik. *Mitteil. d. Geol. Gesellsch. in Wien* 6. 1913. 181—184.
- , Diskussion zum Vortrag Seidl: „Über die Steinsalzablagerungen des oberen Zechsteins bei Schönebeck nach den Grubenaufschlüssen des Graf Moltke-Schachtes“. *Zeitschr. d. D. Geol. Ges.* 65. 1913. Monatsber. 62—64.
- , Zur Klärung tektonischer Grundbegriffe. *Zeitschr. d. D. Geol. Ges.* 66. 1914. Monatsber. 227—244.
- , Über Carnallitisierung der Südharz-Kalilager. *N. Jahrb. f. Min.* 1916. II. 165—176.
- , Ekzeme und Tektonik. *Centralbl. f. Min.* 1917. 414—426.
- Lacroix, A., Sur le chlorure de sodium de l'Oasis de Bilma. *Bull. de la Soc. française de Minéralogie* 31. 1908. 40—43. Ref. *Zeitschr. f. Kristallogr.* 48. 1911. 218.
- Landgraeber, W., Der Salzhut und seine Bedeutung beim Schachtabteufen. *Glückauf* 52. 1916. 785—789.
- , Allgemeine Geologie und Tektonik des niederrheinischen Kalibezirks auf Grund neuerer Aufschlüsse. *Zeitschr. f. d. Berg-, Hütten- u. Salinenwesen im preuß. Staate* 65. 1917. 147—156.
- , Die geologischen und tektonischen Verhältnisse im niederrheinischen Kalirevier auf Grund neuerer Aufschlüsse. *Kali* 12. 1918. 49—58.
- de Launay, L., Les sels de potasse en Haute-Alsace. *La Nature* No. 1862. 1909. 134—135.
- Le Blanc, M. u. Schmandt, W., Über Kristallisation und Auflösung in wässriger Lösung. *Zeitschr. f. physikal. Chem.* 77. 1911. 614—638.
- u. v. Elissafoff, G., Über die Löslichkeit der Würfel- und Oktaederfläche des Steinsalzes. *Berichte d. K. Sächs. Ges. d. Wissenschaften zu Leipzig. Math.-phys. Kl.* 65. 1913. 199—209.
- Levin, M. u. Ruer, Über die Einwirkung von Kaliumsalzen auf die photographische Platte. *Physikal. Zeitschr.* 9. 1908. 248—240.
- , Zur Kenntnis der Radioaktivität der gewöhnlichen Materie. *Kali* 3. 1909. 444—448.
- , Über die Radioaktivität der Quellen von Bad Dürkheim a. d. Haardt. *Kali* 4. 1910. 367—369.
- Liebisch, Th. u. Korreng, E., Kristallisationsvorgänge in binären Systemen aus Chloriden von einwertigen und zweiwertigen Metallen. *Sitzungsber. d. K. Preuß. Akad. d. Wissensch. Physikal.-math. Kl.* 1914. 192—212.
- , Kristallisationsvorgänge in ternären Systemen aus Chloriden von einwertigen und zweiwertigen Metallen I. *Zeitschr. f. anorgan. u. allgem. Chemie.* 99. 1917. 50—56.
- Liesegang, R. E., Kristallisationskraft. *Naturwissenschaftl. Umschau d. Chem. Zeitg.* Jahrg. II. 182—185.
- , Zur Theorie der heißen ungarischen Salzseen. *Internat. Rev. d. ges. Hydrobiol.* 7. 1916. Heft 6.
- v. Linstow, O., Salzflora und Tektonik in Anhalt, Sachsen und Brandenburg. *Jahrb. d. K. Preuß. Geol. Landesanst. für d. Jahr 1910.* 31. II. 1913. 23—37.
- v. Lóczy, L., Über die Gaseruption bei Kissármás. *Földtani Közlöny (Geol. Mitteilungen).* *Zeitschr. d. Ungar. Geol. Ges.* 42. 1912. 55—67.
- Lommatzsch, H., Beitrag zum Studium der Salzlagerstätten Hannovers. *Kali* 7. 1913. 266—272.
- Lück, H., Beitrag zur Kenntnis des Kieserits. *Kali* 4. 1910. 540.
- , Ein neuer Fund organischer Reste im Salzton. *Kali* 7. 1913. 35.
- , Über den Parallelismus der Hartsalz- und Carnallitablagerungen im Berlepsch-Bergwerk von Staßfurt. *Kali* 7. 1913. 50—52.
- , Beitrag zur Kenntnis des älteren Salzgebirges im Berlepsch-Bergwerk bei Staßfurt nebst Bemerkungen über die Pollenführung des Salztones. *Inaug.-Diss. Leipzig* 1913.
- Lutze, Die Salzflorinstätten in Nordthüringen. *Mitteil. d. Thüring. Botan. Vereins.* N. F. Heft 30. 1913. 1—16.
- , Nochmals: Die Salzflorinstätten in Nordthüringen und Herr Kanalspektor Breitenbach. Sondershausen 1913. Fr. Aug. Eupels Hofbuchdruckerei.

- Mache, H., Über den Gehalt des Meereswassers an Radium und Thorium. Wien. Anz. Nr. 16. 1914. 345—347.
- Maenicke, Die Wassereinbrüche in die Grubenbaue des Herzoglich Anhaltischen Salzbergwerkes, der Königlichen Berginspektion Staßfurt und der Gewerkschaft Neu-Staßfurt in den Jahren 1879—1912. Kali 12. 1918. 81—88.
- Majewski, St., Sylwinit w Kaluszu. (Sylvinit in Kalusz.) Berg- und Hüttenm. Rundschau 5. 1908. 173—196. Angabe im Geol. Zentralbl. 17. 1911/12. Nr. 1655.
- Marbach, E., Beitrag zur Kenntnis der optischen Verhältnisse von Flußpat, Steinsalz, Sylvinit, Kalkspat, Aragonit und Borazit. Inaug.-Diss. Leipzig 1913.
- Marc, R., Über die Kristallisation aus wässerigen Lösungen. Erste (vorläufige) Mitteilung. Zeitschr. f. physikal. Chem. 61. 1908. 385—398.
- , Über die Kristallisation aus wässerigen Lösungen. Zweite Mitteilung. Zeitschr. f. physikal. Chem. 67. 1909. 470—500.
- u. Wenk, W., Über die Kristallisation aus wässerigen Lösungen. Dritte Mitteilung. Zeitschr. f. physikal. Chem. 68. 1909. 104—114.
- , Über die Kristallisation aus wässerigen Lösungen. Vierte Mitteilung. Zeitschr. f. physikal. Chem. 73. 1910. 685—723.
- Marcus, E. u. Biltz, W., Über die chemische Zusammensetzung der Staßfurter Salztone. Zeitschr. f. anorgan. Chem. 68. 1910. 91—101.
- , —, Über die chemische Zusammensetzung des roten Salztone. Zeitschr. f. anorgan. Chem. 79. 1912. 119—123.
- v. Marées, F., Der Sarstedt-Sehnder Salzhorst. Kali 7. 1913. 25—32.
- , Der Sarstedt-Sehnder Salzhorst. Nachträgliche Bemerkungen zur Abhandlung in „Kali“ 1913. Heft 2. Kali 7. 1913. 577—582.
- , Jura und Kreide in der Umgegend von Sarstedt. Centralbl. f. Min. 1913. 346—350.
- , Bewegungsepochen beim Aufsteigen des Sarstedt-Sehnder Salzhorstes. Kali 10. 1916. 241—248.
- , Der Tertiärgraben zwischen Sarstedt und Sehnde. Kali 11. 1917. 33—38.
- Martell, P., Das Salinenwesen in der Schweiz. Kali 4. 1910. 30—36.
- , Das Salinenwesen in Frankreich. Kali 4. 1910. 212—219.
- , Das Salinenwesen in England. Kali 4. 1910. 231—239.
- , Das Salinenwesen in Österreich. Kali 4. 1910. 409—414; 453—460.
- , Zur Geschichte des Salzwesens der Stadt Halle. Kali 5. 1911. 1—8.
- , Das Salinenwesen in Rußland. Kali 5. 1911. 93—101; 118—122.
- , Das Salinenwesen in Spanien. Kali 5. 1911. 243—255.
- , Das Salinenwesen in den Vereinigten Staaten von Amerika. Kali 5. 1911. 554—567.
- , Das Salinenwesen in Japan und China. Kali 6. 1912. 128—141.
- , Zur Geschichte des Salinenwesens in Westfalen. Kali 6. 1912. 270—277; 316—324.
- , Salzgewinnung und Salzhandel in den deutschen Kolonien Afrikas. Kali 7. 1913. 193—196.
- , Das Salinenwesen in Ungarn, Bosnien und Herzegowina. Kali 7. 1913. 533—537; 561—567.
- , Zur Geschichte des kursächsischen Salinenwesens. Zeitschr. f. d. Berg-, Hütten- u. Salinenwesen im preuß. Staate 65. 1917. 89—98.
- May, W., Zur Stellung des Salzkörpers von Einigkeit bei Fallersleben im Schichtenverbande des Deck- und Nebengebirges. N. Jahrb. f. Min. Beil. Bd. 40. 1915. 51—76.
- Mayer, St. u. Przißram, K., Über die Verfärbung von Salzen durch Becquerelstrahlen und verwandte Erscheinungen. Sitzungsber. d. K. Akad. d. Wissensch. Wien. Math.-naturw. Kl. 123. Abt. IIa. 1914. 653—663. Ref. N. Jahrb. f. Min. 1916. I. 277—279.
- de Mecquenem, R., Le lac d'Ourmiah. Ann. de Géographie 17. 1908. 128—144.
- Meinecke, F., Das Liegende des Kupferschiefers. (Inaug.-Diss. Halle-Wittenberg 1910.) Jahrb. d. K. Preuß. Geol. Landesanst. für d. Jahr 1910. 31. II. 1913. 253—296.
- Meisner, Der oberelsässische Kalibergbau. Glückauf 48. 1912. 1321—1324.
- Menge, O., Die binären Systeme von $MgCl_2$ und $CaCl_2$ mit den Chloriden der Metalle K, Na, Ag, Pb, Cu, Zn und Cd. Zeitschr. f. anorgan. Chem. 72. 1911. 162—218.
- , Erwiderung an Herrn Jänecke. Zeitschr. f. physikal. Chem. 81. 1913. 377—378.
- Menzel, H., Tertiär und Tektonik im Norden von Hildesheim. v. Koenen-Festschrift. 1907. 175—188.
- Merwin, H. E., Die thermale Entwässerung des Stilbit und Thaumazit; die Hydrate von Magnesium- und Kupfersulfat. Zeitschr. f. Kristallogr. 55. 1915. 113—114.
- Meyer, H. L. F., Zur Entstehung der deutschen Kalisalzlager. Ber. d. Oberhess. Ges. f. Natur- und Heilkunde zu Gießen. N. F. Naturw. Abt. 4. 1910/11. 142—148.
- , Frankenberger Zechstein und grobklastische Bildungen an der Grenze Perm-Trias. Jahrb. d. K. Preuß. Geol. Landesanst. für d. Jahr 1910. 31. I. 1913. 383—447.
- , Über Vertretung von Zechstein bei Schramberg. Jahresber. u. Mitteil. d. Oberhess. Geol. Ver. 1911. 1. Heft 2. 47—49.
- , Die Festlandsbildungen des Zechsteins am Ostrande des rheinischen Schiefergebirges. Kali 5. 1911. 179—185.

- Meyer, H. L. F., Der Zechstein in der Wetterau und die regionale Bedeutung seiner Facies. Ber. d. Oberhess. Ges. f. Natur- u. Heilkunde zu Gießen. N. F. Naturw. Abt. 5. 1912. 49—106.
- , Über den Zechstein im Spessart und Odenwald. Eine vorläufige Mitteilung. Centralbl. f. Min. 1913. 742—751.
- , Die Gliederung des Zechsteins. Ber. d. Oberhess. Ges. f. Natur- und Heilkunde zu Gießen. N. F. Naturw. Abt. 6. 1914. 109—138.
- , Beziehungen zwischen Geotektonik und Sedimentation im Zechstein. Kali 9. 1915. 17—25.
- Michels, W. u. Przibylla, C., Die Kalisalze, ihre Gewinnung und Verarbeitung. Leipzig 1916. O. Spamer.
- Mieli, A., L'origine della salsedine del mare e Vannoccio Biringuccio. Rend. R. Accad. Lincei (5). XXII. 1913. 2. sem., fasc. 2. 68—70. Ref. Geol. Zentralbl. 20. 1913/14. Nr. 1313.
- Milch, L., Über die Zunahme der Plastizität bei Kristallen durch Erhöhung der Temperatur. Erste Mitteilung: Beobachtungen am Steinsalz. N. Jahrb. f. Min. 1909. I. 60—72.
- , Über Plastizität der Mineralien und Gesteine. Geol. Rundschau 2. 1911. 145—162.
- , Deutschlands Bodenschätze. I. Kohlen und Salze. Leipzig 1912. Quelle u. Meyer.
- Mügge, O., Zur Hemiedrie des Sylvins. Centralbl. f. Min. 1906. 259—261.
- , Über die Minerale im Rückstand des roten Carnallits von Staßfurt und des schwarzen Carnallits von der Hildesia. Kali 7. 1913. 1—3.
- Müller, H., Über binäre Systeme, gebildet aus den Sulfaten der Alkalien und des Calciums. N. Jahrb. f. Min. Beil. Bd. 30. 1910. 1—54.
- Nacken, R., Über die gegenseitige Mischbarkeit der Cadmiumhalogene. Centralbl. f. Min. 1907. 301—305.
- , Über den Verlauf der Erstarrungskurve eines binären Systems an einer Stelle, die dem Auftreten einer Verbindung entspricht. Centralbl. f. Min. 1907. 329—336.
- , Über die Bildung und Umwandlung von Mischkristallen und Doppelsalzen in den binären Systemen der dimorphen Sulfate von Lithium, Natrium, Kalium und Silber. N. Jahrb. f. Min. Beil. Bd. 24. 1907. 1—68.
- , Über Langbeinit und Vanthoffit ($K_2SO_4 \cdot 2 MgSO_4$ und $3 Na_2SO_4 \cdot MgSO_4$). Nachr. d. K. Gesellsch. d. Wissenschaften zu Göttingen. Math.-physik. Kl. 1907. 1—12.
- , Über die Mischfähigkeit des Glaserits mit Natriumsulfat und ihre Abhängigkeit von der Temperatur. Sitzungsber. d. K. Preuß. Akad. d. Wissensch. 1910. II. 1016—1026.
- , Über die Grenzen der Mischkristallbildung zwischen Kaliumchlorid und Natriumchlorid. Sitzungsber. d. Preuß. Akad. d. Wissensch. 1918. I. 192—200.
- Naumann, E., Basaltvorkommen im Salzlager des Schachtes der Gewerkschaft Heldburg bei Leimbach unweit Salzungen. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. 62. 1910. Monatsber. 343—344.
- Naumann, M., Lichtbilder von Salzdünnschliffen. Kali 5. 1911. 37.
- , Beitrag zur petrographischen Kenntnis der Salzlagerstätte von Glückauf-Sondershausen. N. Jahrb. f. Min. Beil. Bd. 32. 1911. 578—626.
- , Die deutschen Zechsteinsalzlager. Vortrag gehalten am 28. November 1912 im Naturwissenschaftl. Verein für Sachsen und Thüringen zu Halle a. S. Zeitschr. für Naturwissenschaften 84. 1912/13. 433—444.
- , Zur Kenntnis der Salzlagerstätte von Glückauf-Sondershausen. Kali 6. 1912. 101—104.
- , Knickung der Würfelfläche bei Steinsalz als eine Folge „reiner“ Translation. Centralbl. f. Min. 1913. 697—698.
- , Die sekundäre Entstehung des Borazits der deutschen Zechsteinsalzlager in ihrer Abhängigkeit vom Kieserit. Kali 7. 1913. 442—448.
- Niedźwiedzki, J., Nowsze odsłonięcia złoza soli potasowych w Kaluszu. (Neuere Aufschlüsse der Kalisalzlagerstätte in Kalusz.) Kosmos, Lemberg 35. 1910. 135—138. Ref. Geol. Zentralbl. 15. 1911. Nr. 602.
- , Drugi przyczynek do znajomości formacyi solnej kolo Kalusza. (Zweiter Beitrag zur Kenntnis der Salzformation bei Kalusz.) Kosmos, Lemberg 37. 1912. 7—9. Ref. Geol. Zentralbl. 18. 1912/13. Nr. 1422.
- , Geologische Skizze des Salzgebirges von Kalusz in Ostgalizien. Österreich. Zeitschr. f. Berg- und Hüttenwesen 60. 1912. 411—413; 432—435. Ref. Kali 7. 1913. 9—10; dgl. Geol. Zentralbl. 19. 1913. Nr. 338.
- , Über die Salzformation von Kaczyka in der Bukowina. Bulletin de l'Acad. des sciences de Cracovie. Sciences mathémat. 1913.
- Niggli, P., Lehrbuch der Mineralogie. Berlin 1920. Gebr. Borntraeger.
- Nowomejsky, M. A., Das Vorkommen von Glaubersalz (Mirabilit) und Solquellen am Jenissej-Flusse in Sibirien. Zeitschr. f. prakt. Geol. 16. 1908. 159—161.
- Örtel, W., Die geologischen Verhältnisse des Deister- und Süntelgebietes der Gegend von Lauenau. Fünfter Jahresber. d. Niedersächs. geol. Vereins. 1912. 84—104.

- de Papp, Ch., Source de méthane à Kissármás (Comitat de Kolozs). Földtani Közlöny (Geol. Mitteilungen). Zeitschr. d. Ungar. Geol. Ges. **40**. 1910. 387—415.
- v. Papp, K., Kalisalzschürfungen in Ungarn. Földtani Közlöny (Geol. Mitteilungen). Zeitschr. d. Ungar. Geol. Ges. **41**. 1911. 604—615.
- , Kalisalzschürfungen in Ungarn. Földtani Közlöny (Geol. Mitteilungen). Zeitschr. d. Ungar. Geol. Ges. **43**. 1913. 257—268.
- Parchow, G., Über den Gehalt des Carnallits an Eisenoxyd und Magnesia. Kali **4**. 1910. 95—96.
- Penrose, R. A., The nitrate deposits of Chile. Journ. of Geol. **18**. 1910. 1—32.
- Pflüger, A., Steinsalzoxyd im Ultraviolett. Physikal. Zeitschr. **10**. 1909. 405—406.
- Phalen, W. C., Potash salts, their uses and occurrence in the United States. Mineral Resources of the U. S. for 1910. II. 1911. 747—767.
- , The production of salt and bromine in 1912. Mineral Resources of the U. S. for 1912. 1913.
- , Potash salts, summary for 1912. Mineral Resources of the U. S. for 1912. 1913.
- , The occurrence of potash salts in the bitterns of the eastern United States. U. S. Geol. Surv. Bull. **530**. 1913. 313—329.
- , The production of salt, bromine and calcium chloride in 1913. Mineral Resources of the U. S. for 1913. II. 1914.
- Piestrak, F., Die Salinen in Galizien und in der Bukowina. Österreich. Zeitschr. f. Berg- und Hüttenwesen **60**. 1912. 85—91; 103—106. Ref. Geol. Zentralbl. **18**. 1912/13. Nr. 1780.
- Pompecky, J. F., Die Meere der Vorzeit. Rede zur Feier des Geburtstages Seiner Majestät des Kaisers und Königs am 27. Januar 1909. Göttingen 1910.
- , Zur Frage hoher Temperaturen bei der Entstehung mancher Kalisalze. Zeitschr. f. prakt. Geol. **19**. 1911. 166—167.
- Poljenow, B., Über die Bildung von Chlornatriumhydrat in der Kempendjaiskschen Salzquelle im Jakutskischen Gebiete (nach Beobachtungen von P. Drawert). Russisch. Sitzungsber. d. Naturf. Ges. b. d. Univ. Kasan. Protokollbeilage Nr. **246**. 1909. Ref. N. Jahrb. f. Min. 1919. II. 12.
- Poppe, W., Über die Auflösung von Natriumchlorid- und von Natriumchlorat-Kristallen. N. Jahrb. f. Min. Beil. Bd. **38**. 1915. 363—428.
- Posejpal, V., Untersuchung von Steinsalz auf Pyroelektrizität. Beitr. z. Kristallogr. u. Min. herausgeg. von V. Goldschmidt. **1**. 1918. 257—260.
- Powers, S., The Butler salt dome, Freestone County, Texas. Amer. Jour. of Science (IV.) **49**. 1920. 127—142.
- Precht-Ehrhardt, Die norddeutsche Kaliindustrie. Staßfurt 1907.
- Precht, H., Über das Vorkommen von Erdöl in dem Kalibergwerk Desdemona bei Alfeld a. d. Leine. Zeitschr. f. angewandte Chemie **20**. 1907. 223.
- , Über die Bildung des jüngeren Steinsalzes der Zechsteinformation. Kali **3**. 1909. 223—226.
- , Die Polyhalitzone und die angrenzenden Gebirgsschichten in den Staßfurter Salzbergwerken. Kali **5**. 1911. 34—37.
- Precht, J., Studien über radioaktive Stoffe in den Salzbergwerken und über den Zusammenhang von Erdwärme und Radiumwärme. Zeitschr. f. angew. Chemie **21**. 1908. 1703—1705.
- Preuß, H., Die Salzstellen des norddeutschen Flachlandes und ihre Bedeutung für die Entwicklungsgeschichte unserer Halophyten-Flora. Schriften d. phys.-ökon. Ges. Königsberg **51**. 1910. 71—87.
- Prinz, W., Observations sur le sel gemme blanc et bleu. Bull. de la soc. Belge de Géologie **22**. 1908. 63—82.
- Przyborski, M., Der Steinsalzbergbau in Marosujvár (Siebenbürgen). Montanist. Rundschau **8**. 1916. 61—64. Ref. Geol. Zentralbl. **22**. 1916/17. Nr. 1599.
- Rack, G., Über das gegenseitige Verhalten des Zinnchlorürs und der Chloride des Kaliums und Natriums beim Kristallisieren aus dem Schmelzfluß. Centralbl. f. Min. 1913. 373—379.
- , Das binäre System Zinnchlorür-Lithiumchlorid. Centralbl. f. Min. 1914. 326—328.
- Ramdohr, P., Die Salzlagerstätten im Tertiär des Elsaß. Kali **7**. 1913. 214—217.
- Reidemeister, C., Über Salztone und Plattendolomite im Bereich der norddeutschen Kalisalz-lagerstätten. Kali **6**. 1912. 226—234; 295—302.
- Reinisch, R., Gesteins- und Mineralschätze des deutschen Bodens. Leipzig 1913. R. Voigtländer.
- Reinl, H., Die Salzgebirge von Grubach und Abtenau. Österreich. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenw. **58**. 1910. 209—212; 225—227. Ref. Geol. Zentralbl. **15**. 1911. Nr. 1219.
- Renner, O., Über Baeumerit, ein neues Kalisalzmineral. Vorläufige Mitteilung. Centralbl. f. Min. 1912. 106—107.
- , Salzlager und Gebirgsbau im mittleren Leinetal. Archiv f. Lagerstättenforschung. Heft **13**. K. Preuß. Geol. Landesanst. 1914.
- , Über den Zechstein an der Pyrmonter Achse. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. **66**. 1914. Monatsber. 1—7.
- Richards, R. W., Niter near Melrose, Montana. U. S. Geol. Surv. Bull. **540**. 1914. 470—473.
- v. Richthofen, F., Über die Herkunft des Salzes im Meerwasser. (Nach einem Vortrag). Naturwissenschaftl. Wochenschr. 1907. 28—29.

- Riedel, O., Chemisch-mineralogisches Profil durch das ältere Salzgebirge des Berlepschbergwerkes bei Staßfurt. *Zeitschr. f. Kristallogr.* **50**. 1913. 139—173.
- Riemann, C., Die Entstehung der Salzlager. *Kali* **1**. 1907. 1—7.
- , Das Vorkommen von Kalisalzen in Chile. *Kali* **1**. 1907. 157.
- , Die Geologie der deutschen Salzlagerstätten. Staßfurt 1908. W. Seegelken.
- , Die deutschen Salzlagerstätten. „Aus Natur- und Geisteswelt.“ Leipzig 1913. B. G. Teubner.
- , Ein neues Pinnoitvorkommen. *Kali* **7**. 1913. 3414.
- Rinne, F., Über die Umformung von Carnallit unter allseitigem Druck im Vergleich mit Steinsalz, Sylvin u. Kalkspat. v. Koenen-Festschrift. 1907. 369—376.
- , Vergleichende Untersuchungen über die Methoden zur Bestimmung der Druckfestigkeit von Gesteinen. Bericht über von L. Prandtl u. F. Rinne durchgeführte Versuche. *N. Jahrb. f. Min.* 1907. I. 45—61.
- , Vergleichende Untersuchungen über die Methoden zur Bestimmung der Druckfestigkeit von Gesteinen. Zweiter Bericht über von L. Prandtl u. F. Rinne durchgeführte Versuche. *N. Jahrb. f. Min.* 1909. II. 121—128.
- , Referat über von L. Prandtl und F. Rinne durchgeführte vergleichende Untersuchungen über die Methoden zur Bestimmung der Druckfestigkeit von Gesteinen. *Kali* **3**. 1909. 360—362.
- , Zur chemisch-mineralogischen Erforschung der deutschen Kalisalzlagerstätten. Antrittsvorlesung. Leipzig 1910.
- und Kolb, R., Chemische Natur, Bautypus und Vorkommen des Rinneit. *Centralbl. f. Min.* 1911. 337—342.
- , Natürliche Translationen an Steinsalzkrystallen. *Zeitschr. f. Kristallogr.* **50**. 1912. 259—262.
- , Metamorphosen an Salzen und Silikatgesteinen. *Sitzungsber. d. Sächs. Ges. d. Wissenschaften zu Leipzig. Math.-phys. Kl.* **66**. 1914. 118—135.
- , Metamorphosen von Salzen und Silikatgesteinen. Siebenter Jahresber. d. Niedersächsischen geol. Vereins. 1914. 252—269.
- , Die Entstehung der kieseritischen Sylvinalite durch geothermale Pressungsmetamorphose. *N. Jahrb. f. Min.* 1916. I. 1—9.
- , Gesteinskunde. 5. vollst. durchgearbeitete Aufl. Leipzig 1920. Jänecke.
- , Salzpetrographie und Metallographie im Dienste der Eruptivgesteinskunde. *Fortschr. d. Min., Kristallogr. u. Petrogr.* **1**. 1911. 181—220.
- , Die geothermischen Metamorphosen und die Dislokationen der deutschen Kalisalzlagerstätten. *Fortschr. d. Min., Kristallogr. u. Petrogr.* **6**. 1920. 101—136.
- , Die Kalisalzlagerstätten im Elsaß und die Eisenerzvorkommnisse in Lothringen. Vortrag, gehalten am 16. Dezember 1918. *Mitt. d. Ver. f. Erdkunde. Leipzig* 1918. 47—62.
- Ritzel, A., Über die Abhängigkeit der Kristalltracht des Chlornatriums vom Lösungsmittel. Vorläufige Mitteilung. *Centralbl. f. Min.* 1910. 498—499.
- , Kristallisations- und Auflösungsgeschwindigkeit. *Fortschr. d. Min. usw.* **1**. 1911. 86—98.
- , Die Kristalltracht des Chlornatriums in ihrer Abhängigkeit vom Lösungsmittel. *Zeitschr. f. Kristallogr.* **49**. 1911. 152—192.
- , Kristallplastizität. *Fortschr. d. Mineralogie usw.* **2**. 1912. 62—73.
- , Translation und anomale Doppelbrechung bei Steinsalz und Sylvin. *Zeitschr. f. Kristallogr.* **52**. 1913. 238—276.
- , Die Translation der regulären Halogenide. *Zeitschr. f. Kristallogr.* **53**. 1914. 97—148.
- , Über die Mischkristalle von Salmiak und Eisenchlorid. *Chemie d. Erde* **1**. 1914. 7—48.
- , Über die Bildung von Mischkristallen. *Chemie d. Erde* **1**. 1914. 270—293.
- Roemer, H., Die gebräuchlichsten Untersuchungsmethoden für Kalisalze. *Kali* **3**. 1909. 409—416.
- Rogers, A. F., Anhydrite and associated minerals from the saltmines of Central Kansas. *Am. Journ. of Science (IV.)* **29**. 1910. 258—261.
- Rosenkränzer, Das Kalisalzvorkommen im Ober-Elsaß. *Berg- und Hüttenmänn. Rundschau* **9**. 1913. 279—283.
- Rosicky, V., Beiträge zur Morphologie der Glaubersalzreihe. *Zeitschr. f. Kristallogr.* **45**. 1908. 473—489.
- , Über die Symmetrie des Steinsalzes. *Sbornik klubu přírodovědeckého No. VI. Prag* 1914. *Ref. N. Jahrb. f. Min.* 1916. II. 15—16.
- , Über die Symmetrie des Steinsalzes. *Beitr. z. Kristallogr. u. Min. herausgeg. v. V. Goldschmidt.* **1**. 1918. 241—256.
- Roth, W., Elsaß-Lothringens Bodenschätze, besonders das oberelsässische Kali. *Industrie* **29**. 1918. 66.
- Rózsa, M., Neuere Daten zur Kenntnis der warmen Salzseen. Bericht über die physikalische und chemische Untersuchung des Erwärmungsprozesses der Siebenbürger Salzseen. Berlin 1911.
- , Über die periodische Entstehung doppelter Temperaturmaxima in den warmen Salzseen. *Ann. d. Hydrographie* 1913. Heft 10.
- , Daten zur Kenntnis des organischen Aufbaues der Staßfurter Salzablagerungen. *Kali* **7**. 1913. 143—144.

- Rózsa, M., Daten zur Kenntnis des organischen Aufbaues der Staßfurter Salzablagerungen. I u. II. Kali 7. 1913. 242—247.
- , Daten zur Kenntnis des organischen Aufbaues der Kalisalzablagerungen. Kali 7. 1913. 505—511.
- , Über den organischen Aufbau der Staßfurter Salzablagerungen. Berlin 1914. R. Friedländer u. Sohn.
- , Über die posthumer Umwandlungen in den Staßfurter Salzablagerungen. Zeitschr. f. anorgan. Chem. 86. 1914. 163—168.
- , Über die posthumer Umwandlungen der Kali- und Magnesiasalze in den Salzablagerungen der Werragegend. Zeitschr. f. anorgan. Chemie 88. 1914. 321—332.
- , Die physikalischen Bedingungen der Akkumulation von Sonnenwärme in den Salzseen. Physikal. Zeitschr. 16. 1915. 108—111.
- , Über die chemisch-quantitative Zusammensetzung der Staßfurter Salzablagerungen. Zeitschr. f. anorgan. Chemie 90. 1915. 377—385.
- , Die Entstehung des Hartsalzes und die sekundären Umwandlungen der Zechsteinsalze im Zusammenhange mit den Gleichgewichtsschemata van't Hoff's. Zeitschr. f. anorgan. Chemie 91. 1915. 299—319.
- , Zusammenfassende Übersicht der in den Kalisalzlagern stattgefundenen chemischen Umwandlungsprozesse. Zeitschr. f. anorgan. Chemie 92. 1915. 297—300.
- , Über den chemischen Aufbau der Kalisalzablagerungen im Tertiär des Oberelsaß. Zeitschr. f. anorgan. u. allgem. Chemie 93. 1915. 137—150.
- , Die sekundären Umwandlungsvorgänge des Kaliumhauptsalzes. Földtani Közlöny (Geol. Mitteilungen). Zeitschr. d. Ungar. Geol. Ges. 45. 1915. 293—310.
- , Die quantitativen chemischen Beziehungen der Hydrothermalmetamorphose des Hauptsalzes im Staßfurter Kalisalzlager. Zeitschr. f. anorgan. u. allgem. Chemie 94. 1916. 92—94.
- , Über die Ausscheidung und Thermometamorphose der Zechsteinsalze Bischofit, Kainit und Astrakanit. Zeitschr. f. anorgan. und allgem. Chemie 97. 1916. 41—55.
- , Über die posthumer Einlagerungen im Hauptanhydrit. Zeitschr. f. anorgan. u. allgem. Chemie 98. 1916. 327—332.
- , Das Vorkommen und die Entstehung des Hartsalz-Kainitits. Centralbl. f. Min. 1916. 505—511.
- , Das Bestehen von Bischofitlagern und die sekundären Umwandlungsvorgänge der Zechsteinkalisalze. Zeitschr. f. anorgan. u. allgem. Chemie 101. 1917. 276—284.
- , Die Entstehung der Zechsteinsalzlager aus chemisch-geologischen Gesichtspunkten. Centralbl. f. Min. 1917. 35—41.
- , Jodgehalt und Laugeneinschlüsse im Zechsteinsalzlager. Centralbl. f. Min. 1917. 172—176.
- , Über die Entstehung des Südharzer anhydritischen Sylvin-Halits. Centralbl. f. Min. 1917. 490—492.
- , Die Zusammensetzung und die Entstehung der zwischen dem Polyhalitlager und dem kieseritischen Carnallit-Halit liegenden Teile der Kalisalzlager. Centralbl. f. Min. 1918. 121—131.
- , Zusammenfassende Übersicht der Gliederungsverhältnisse und Umwandlungsvorgänge im älteren Zechsteinkalisalzlager. Centralbl. f. Min. 1918. 361—367.
- , Das Vorkommen des Polyhalits im älteren Zechsteinkalisalzlager, im Zusammenhange mit den Angaben van't Hoff's. Zeitschr. f. anorgan. u. allgem. Chemie 105. 1919. 167—170.
- , Petrogenese und petroklimatologische Beziehungen der Salzablagerungen im Tertiär des Oberelsaß. Kali 14. 1920. 61—70.
- , Über die neuere Einteilung der Schichtenfolge der Kalisalzlager. (Mitteilungen aus der VII. Fachsitzung der Ung. Geologischen Gesellschaft vom 6. Nov. 1919). Kali 14. 1920. 211—212.
- Rubio, C. und Marin, A., Sales potásicas de Cataluna. Bol. del Instituto geológico de España. 34. 1913.
- Ruff, O., Über die färbende Substanz im roten Carnallit. Kali 1. 1907. 80—85.
- Rühle, C., Der Aufbau der Kalisalzagerstätte des Bernburger Sattels, insbesondere des älteren Lagers von „Solvay in Preußen“. Sechster Jahresber. des Niedersächs. geol. Vereins. 1913. 116—177.
- , Neue Methode zum Bestimmen von Salzmineralien durch Einbetten der gepulverten Salzproben in Kreosot und Cymol. Kali 8. 1914. 39—42.
- Sackur, O., Geschmolzene Salze als Lösungsmittel. I. Kryoskopische Untersuchungen. II. Löslichkeitsbestimmungen. Zeitschr. f. physikal. Chemie 78. 1912. 550—563; 564—572.
- Schachenmeier, R., Theoretisches über Gleitflächen und Kristallplastizität im allgemeinen. Annalen d. Physik (4). 46. 1915. 393—412.
- Schaefer, W., Die binären Systeme aus Calciumchlorid mit Barium- und Strontiumchlorid. N. Jahrb. f. Min. 1914. I. 15—24.
- , Thermische und Kristallographische Untersuchung der ternären Systeme aus Lithium-, Natrium-, Kaliumchlorid und Calcium-, Strontium-, Bariumchlorid. N. Jahrb. f. Min. Beil. Bd. 43. 1919/20. 132—189.

- Schafarzik, F., A naptól folmelegedő szovatai konyhasós tavaknak főleg a forró Medvetónak geológiai, hidrográfiai es egynémely fizikai viszonyáról. (Über die geologischen, hydrographischen und einige physikalische Verhältnisse der durch Insolation erwärmten Salzseen insbesondere des heißen Medvetó-Sees bei Szováta.) Földtani Közlöny (Geol. Mitteilungen). Zeitschr. d. Ungar. Geol. Ges. **38**. 1908. 437—455. Ref. Geol. Zentralbl. **12**. 1909. Nr. 147.
- Scheerer, Gasvorkommen in Kalisalzbergwerken. Zeitschr. f. Berg-, Hütten- u. Salinenwesen i. preuß. Staate **59**. 1911. 212—229.
- Scheibe, R., Diskussion zum Vortrag Lachman: „Ekzeme als geologische Chronometer.“ Zeitschr. d. D. Geol. Ges. **64**. 1912. Monatsber. 565—566.
- Schloesing, père, Sur les eaux mères des marais salants. Comptes Rendus. **152**. 1911. 741—746.
- Schlunk, J., Salzlager und Kalisalze im oberen Buntsandstein. Kali **7**. 1913. 272—276; 314—318; 350—357; 398—408.
- Schmidt, A., Württembergs Salzwerks- und Salinenbetrieb in der Vergangenheit. Glückauf **44**. 1908. 1000—1006.
- Schmidt, R., Über die Beschaffenheit und Entstehung parallelfaseriger Aggregate von Steinsalz und von Gips. Kali **8**. 1914. 161—166; 197—202; 218—222; 239—245.
- Schmierer, Th., Zur Tektonik des oberen Allertals und der benachbarten Höhenzüge. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. **61**. 1909. Monatsber. 499—514.
- , Die gebirgsbildenden Vorgänge zwischen dem Flechtinger Höhenzug und der Helmstedter Braunkohlenmulde. Dritter Jahresber. des Niedersächs. geol. Vereins. 1910. 217—225.
- Schnarrenberger, Die Kalisalzfundamente im Oberland. Mitteil. d. Bad. Landesver. f. Naturkunde u. Naturschutz. 1913. 284—286.
- Schneider, O., Zur Kristallform des Rinneits. Centralbl. f. Min. 1909. 503—506.
- Schnorr, W., Über die Auflösung von Chlornatriumkristallen in harnstoffhaltigen Lösungen. Zeitschr. f. Kristallogr. **54**. 1915. 289—331.
- Schobert, E., Über die Kristallisation von Chlornatrium, Bromnatrium und Jodnatrium aus Schmelzen und wässrigen Lösungen. Inaug.-Diss. Leipzig 1912.
- Scholich, K., Ternäre Systeme aus Kaliumchlorid, Natriumchlorid und den Chloriden zweiwertiger Metalle. N. Jahrb. f. Min. Beil. Bd. **43**. 1919/20. 251—294.
- Scholz, E., Geologische Verhältnisse des Süntels. Erster Jahresber. d. Niedersächs. geolog. Vereins. 1909. 78—112.
- , Über Salzvorkommen und Salzgewinnung in Deutsch-Ostafrika. Pflanze **9**. 1913. 226—232.
- Schöndorf, Fr., Die geologischen Verhältnisse der Umgegend von Hannover. Festbuch der 25. Provinzial-Lehrerversammlung in Hannover 1911.
- , Über das Aufsteigen des Salzgebirges. Kali **7**. 1913. 481—484.
- Schreiber, H., Beitrag zur Kenntnis des Syngenits. N. Jahrb. f. Min. Beil. Bd. **37**. 1914. 247—284.
- Schröder, G., Studien über die Zunahme der Plastizität beim Steinsalz durch Temperaturerhöhung. Inaug.-Diss. Greifswald 1914. Mitt. d. Naturw. Vereins f. Neuvorpommern u. Rügen **45**. 1913.
- Schulz, A. u. Koenen, O., Die halophilen Phanerogamen im Kreidebecken von Münster. 40. Jahresbericht d. Westfäl. Provinzial-Vereins f. Wissensch. u. Kunst in Münster. 1912. 165—192.
- , Über die Ansiedlung und Verbreitung halophiler Phanerogamenarten in den Niederungen zwischen Bendeleben und Nebra. Mitteil. d. Thüring. Botan. Vereins. N. F. Heft **31**. 1914. 11—29.
- , Die Geschichte der phanerogamen Flora und Pflanzendecke Mitteldeutschlands, vorzüglich des Saalebezirkes, seit dem Ende der Pliocänzeit. 1. Teil. 43 ff. Halle 1914. Nebert.
- Schulz, A. R., Deposits of sodium salts in Wyoming. U. S. Geol. Surv. Bull. **430**. 1910. 570—588.
- Schünemann, F., Bericht über die Exkursion nach Staffurt zur Befahrung des Kgl. Berlepschschachtes am 23. März 1910 unter Führung von Herrn Beyschlag. Zeitschr. d. D. Geol. Gesellsch. **62**. 1910. Monatsber. 621—623.
- , Vorläufige Mitteilung über einzelne Ergebnisse meiner Untersuchungen auf den Kaliwerken des Staffurter Sattels. Zeitschr. f. prakt. Geol. **21**. 1913. 205—216.
- Schürmann, H., Sind unsere Kalilager radioaktiv? D. Bergwerkszeitung 1910. Nr. 143.
- Scupin, H., Die erdgeschichtliche Entwicklung des Zechsteins im Vorlande des Riesengebirges. Sitzungsber. d. K. Preuß. Akad. d. Wissensch. 1916. 1266—1277.
- , Die stratigraphische Vertretung der mitteldeutschen Salzlagerstätten im niederschlesischen Zechstein. Kali **11**. 1917. 371—374.
- Seguenza, L., I giacimenti di salgemma in Sicilia e la loro età geologica. Atti della R. Accad. Peloritana. **19**. II. 86. Ref. Geol. Zentralbl. **13**. 1909/10. Nr. 1747.
- , Sull' età e la posizione geologica del salgemma in Sicilia. Atti della R. Accad. Peloritana. **23**. I. Ref. Geol. Zentralbl. **15**. 1911. Nr. 1090.
- Seidl, E., Die permische Salzlagerstätte im Graf Moltke-Schacht und in der Umgebung von Schönebeck a. d. Elbe. Beziehung zwischen Mechanismus der Gebirgsbildung und innerer Umformung der Salzlagerstätte. Archiv f. Lagerstättenforschung Heft 10. Herausgegeben von der Preuß. Geol. Landesanstalt. 1914.
- , Beiträge zur Morphologie und Genesis der permischen Salzlagerstätten Mitteldeutschlands. Nach geologischen Untersuchungen im fiskalischen Solbergwerk Graf Moltke-Schacht bei Schönebeck a. d. Elbe und in hannöverschen Kaliwerken. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. **65**. 1913. 124—150.

- Siedentopf, H., Über künstlichen Dichroismus von blauem Steinsalz. Vortrag 79. Naturforscherversammlung Dresden 1907. Physikal. Zeitschr. 8. 1907. 850—852.
- , Über künstlichen Dichroismus von blauem Steinsalz. (Vorläufige Mitteilung.) Verh. d. D. Physikal. Ges. 9. 1907. 621—623.
- Simon, M., Über Sodaefloreszenzen im Haller Salzberg und ihre Genese. N. Jahrb. f. Min. 1914. I. 1—14.
- Singewald, J. T. u. Miller, B. L., The genesis of the Chilean nitrate deposits. Economic Geol 11. 1916. 103—114.
- Snider, L. C., The gypsum and salt of Oklohama. Oklohama Geol. Surv. Bull. Nr. 11. 1913. Ref. Geol. Zentralbl. 21. 1914/15. Nr 730.
- Sommerfeldt, E., Zur Frage nach der Isomorphie des Calciumsulfates mit Baryt und Coelestin. N. Jahrb. f. Min. 1907. I. 139—146.
- , Nachtrag zu meiner Publikation über kristallisiertes Calciumsulfat. Centralbl. f. Min. 1909. 25—26.
- , Zur Frage nach der Isomorphie von Kalium- und Natriumverbindungen. Zeitschr. f. anorgan. Chem. 69. 1911. 47—51.
- Spezia, G., Über das metallische Natrium als die angebliche Ursache der natürlichen blauen Farbe des Steinsalzes. Centralbl. f. Min. 1909. 398—404.
- Stahlberg, W., Unsere Kalisalzlager, ein Geschenk des Meeres an den deutschen Boden. Berlin 1909. Veröffentl. d. Inst. f. Meereskunde Heft 7.
- Stange, A., Illustriertes Jahrbuch der Wirtschaft und Technik im deutschen Kalisalz-Bergbau. Berlin 1910. Montan-Verlag.
- Stier, K., Strukturbild des Benther Salzgebirges. Achter Jahresber. des Niedersächs. geol. Vereins. 1914. 1—14.
- Stille, H., Die tektonischen Verhältnisse des östlichen Vorlandes der südlichen Egge. Erläut. zu Blatt Willebadessen d. geol. Spezialkarte von Preußen. Berlin 1908.
- , Zonares Wandern der Gebirgsbildung. Vortrag, gehalten zu Hannover in der Versammlung des Niedersächsischen geologischen Vereins am 19. Dezember 1908. Zweiter Jahresber. d. Niedersächs. geol. Vereins. 1909. 34—48.
- , Marines Oberoligocän westlich Hannover. Vortrag, gehalten zu Hannover in der Versammlung des Niedersächsischen geologischen Vereins am 6. Februar 1909. Zweiter Jahresber. d. Niedersächs. geol. Vereins. 1909. 69—76.
- , Über das Alter der deutschen Mittelgebirge. Centralbl. f. Min. 1909. 270—286.
- , Die Kalischätze der Provinz Hannover. Arbeiten der Landwirtschaftskammer für die Provinz Hannover. Heft 29. 1910.
- , Senkungs-, Sedimentations- und Faltungsräume. Congrès géol. international, Comptes Rendu de la XI. Session. Stockholm 1910. II. 819—836.
- , Der Mechanismus der Osning-Faltung. Jahrb. d. K. Preuß. Geol. Landesanst. für d. Jahr 1910. 31. I. 1913. 357—382.
- , Die mitteldeutsche Rahmenfaltung. Vortrag, gehalten zu Göttingen in der Frühjahrs-Hauptversammlung des Niedersächsischen geologischen Vereins am 2. April 1910. Dritter Jahresber. d. Niedersächs. geol. Vereins. 1910. 141—170.
- , Überfaltungerscheinungen im hannoverschen Salzgebirge. Vortrag, gehalten zu Hannover in der Sitzung des Niedersächsischen geologischen Vereins am 4. Februar 1911. Vierter Jahresbericht des Niedersächs. geol. Vereins. 1911. 192—207.
- , Überfaltungen im hannoverschen Salzgebirge. Kali 5. 1911. 146—147.
- , Der Untergrund der Lüneburger Heide und die Verbreitung ihrer Salzvorkommen. Vierter Jahresber. d. Niedersächs. geol. Vereins. 1911. 224—286.
- , Das Aufsteigen des Salzgebirges. (Vortrag, gehalten auf der ersten Kalihauptversammlung zu Halberstadt am 2. Oktober 1910.) Zeitschr. f. prakt. Geol 19. 1911. 91—99.
- , Das Aufsteigen des Salzgebirges. Kali 5. 1911. 69—72.
- , Die Faltung des deutschen Bodens und des Salzgebirges. Kali 5. 1911. 341—348; 365—373.
- , Tektonische Evolutionen und Revolutionen in der Erdkrinde. Antrittsvorlesung. Leipzig 1913.
- , Die saxonische Faltung. Eine Antwort auf die Verhandlungen anlässlich der Hauptversammlung der Deutschen Geologischen Gesellschaft zu Greifswald am 10. August 1912. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. 65. 1913. Monatsber. 575—593.
- , Das tektonische Bild des Benther Sattels. Siebenter Jahresber. d. Niedersächs. geol. Vereins. 1914. 270—356.
- , Hebung und Faltung im Schollengebirge. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. 68. 1916. Monatsber. 269—294.
- , Injektivfaltung und damit zusammenhängende Erscheinungen. Geol. Rundschau 8. 1917. 89—142.
- , Über Hauptformen der Orogenese und ihre Verknüpfung. Nachr. von der K. Ges. d. Wissenschaften zu Göttingen Mathemat.-physik. Kl. 1918. 1—32.
- , Die Begriffe Orogenese and Epirogenese. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. 71. 1920. 164—207.

- Stolley, E., Geologische Skizze der Umgegend Braunschweigs. Vortrag, gehalten zu Braunschweig auf der Frühjahrs-Hauptversammlung des Niedersächsischen geologischen Vereins am 12. April 1912. Fünfter Jahresber. d. Niedersächs. geol. Vereins. 1912. 7—20.
- Stose, G. W., Geology of the salt and gypsum deposits of southwestern Virginia. U. S. Geol. Surv. Bull. 530. 1913. 232—255.
- Stranetzky, K., Die optischen Eigenschaften des Simonyit von Hallstadt. Tscherm. Min. Petr. Mitt. 26. 1907. 143—144.
- Strutt, R. J., Über das in den Mineralien der Salzlagerstätten vorhandene Helium und dessen wahrscheinliche Beziehung zum Kalium. Proc. Roy. Soc. 81A. 1908. 278—279. Ref. Zeitschr. f. Kristallogr. 48. 1911. 676.
- Stutzer, A., Amerikanische Kalisalze. 1. Mitteilung Kali 6. 1912. 294—295. — 2. Mitteilung Kali 6. 1912. 432—433. — 3. Mitteilung Kali 7. 1913. 49—50.
- Sudhaus, K., Über die Gleichgewichte der Doppelsalze von Cadmiumchlorid-Natriumchlorid und Cadmiumchlorid-Kaliumchlorid mit ihren wässerigen Lösungen. N. Jahrb. f. Min. Beil. Bd. 37. 1914. 1—50.
- Sueß, Franz E., Kristallisationskraft und lineare Kraft wachsender Kristalle. Naturwissensch. Wochenschr. N. F. 15. 1916. 697—701.
- Szajnocha, W., Przekrój warstw podkarpackich międry Truskawcen a Drohobyczen (Die subkarpathische Salzformation zwischen Truskawiec und Drohobycz). Kosmos, Lemberg 34. 1909. 640—652. Ref. Geol. Zentralbl. 14. 1910. Nr. 660.
- Tannhäuser, F., Die Steinsalz- und Kalilagerstätten: Vorkommen, Entstehung, Gewinnung und Verarbeitung. „Aus der Natur“. Zeitschr. f. Naturfreunde 3. 1907. 231—275.
- Thieß, F., Die Salzindustrie und der Salzhandel Rußlands zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts. Zeitschr. f. d. Berg-, Hütten- und Salinenwesen im preuß. Staate 55. 1907. 282—288.
- Thürach, H., Das Kalisalzlager im Tertiär des Rheintales und seine mögliche Verbreitung in Baden. Allg. österr. Chem. u. Techn. Ztg. 1908. H. 1. Ref. Kali 2. 1908. 75—76.
- Tokarski, J., Syngenit z Morszyna (Syngenit aus Morszyn in Galizien). Kosmos, Lemberg 35. 1910. 140—141. Ref. Geol. Zentralbl. 14. 1910. Nr. 1565.
- , Parageneza soli kamiennej gipsu i syngenitu (Eine Paragenese von Gips, Syngenit und Steinsalz aus Kalusz [Galizien]). Kosmos, Lemberg 38. 1913. 238—239. Angabe im Geol. Zentralbl. 19. 1913. Nr. 1318.
- Tornquist, A., Die Tektonik des tieferen Untergrundes Norddeutschlands. Sitzungsber. d. K. Preuß. Akad. d. Wissensch. Berlin 1911. 822—836.
- , Tektonik Deutschlands und die Beziehung geophysikalischer Verhältnisse und der Ausbreitung der Erdbebenbewegungen zu dieser Tektonik. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. 64. 1912. Monatsber. 466—475.
- Treis, K., Kristallographische und thermische Untersuchungen von Systemen aus Bleichlorid und Chloriden einwertiger Metalle. N. Jahrb. f. Min. Beil. Bd. 37. 1914. 766—818.
- Tutton, A. E. H., Über die optischen Konstanten von Gyps bei verschiedenen Temperaturen und den Mitscherlich'schen Vorlesungsversuch. Zeitschr. f. Kristallogr. 46. 1909. 135—153.
- Uhlig, J., Über das Löslichkeitsschema KCl , $MgCl_2$ und Wasser (Carnallitschema) bei 50°. Centralbl. f. Min. 1913. 417—422.
- Ullrich, Die Wassereinbrüche in die Schächte I und II der Kaliwerke Aschersleben. — Der Wassereinbruch in den Schacht des Kaliwerks Asse. — Die Wassereinbrüche in die Schächte der Kaliwerke Jessenitz und Friedrich Franz in Mecklenburg. — Der Wassereinbruch auf den Schächten I und II der Consolidierten Alkaliwerke in Westeregeln im Jahre 1891. Kali 12. 1918. 88—98.
- Valentiner, S., Heliumgehalt im blauen Steinsalz. Kali 6. 1912. 1—3.
- Valeton, J. J. P., Über die Grundbegriffe der Phasenlehre und ihre Anwendung auf wasserhaltige Salze, I. u. II. I. Kali 6. 1912. 258—262. II. Kali 7. 1913. 190—193.
- , Kristallform und Löslichkeit. Berichte d. K. Sächs. Ges. d. Wissensch. zn Leipzig. Math.-physikal. Kl. 67. 1915. 1—59.
- van't Hoff, J. H., Zur Bildung der ozeanischen Salzablagerungen. Band I. 1905, Band II. 1909. Braunschweig. Fr. Vieweg.
- , Untersuchungen über die Bildungsverhältnisse der ozeanischen Salzablagerungen, insbesondere des Staßfurter Salzlagers. Herausgegeben von H. Precht und E. Cohen. Leipzig 1912. Akad. Verlags-Gesellschaft.
- Verloop, J. H., Die Salzlager der Nordschweiz. Inaug.-Diss. Basel 1909.
- Vogel, O., Das Salzbergwerk Hall in Tirol im Jahre 1782. Österr. Zeitschr. f. Berg- und Hüttenwesen 1908. Nr. 44.
- Vogt, J. u. Mieg, M., Note sur la découverte des sels de potasse en Haute-Alsace. Bulletin de la Société Industrielle de Mulhouse (Bull. de septembre-octobre 1908. Séance du 24 juin 1908.) 1908. 1—15.

- Vortisch, E., Über die Mischkristalle in den ternären Systemen aus Strontiumchlorid, Bariumchlorid und Natriumchlorid oder Kaliumchlorid. N. Jahrb. f. Min. Beil. Bd. **38**. 1915. 185—272.
- , Über das System Bariumchlorid-Kaliumchlorid-Natriumchlorid. N. Jahrb. f. Min. Beil. Bd. **38**. 1915. 513—524.
- , Die Mischkristalle (K, Na) Cl in ternären Systemen. Centralbl. f. Min. 1919. 293—299.
- Wäser, B., Zur Geschichte der Staßfurter Salzindustrie. Chemiker-Zeitg. **35**. 1911. 237—239.
- Wagner, C. L., Über die Auflösungs geschwindigkeit von Salzen. Zeitschr. f. physikal. Chem. **71**. 1910. 401—436.
- Wagner, W., Die Kalisalzlager im Tertiär des Oberelsaß. Mitteilungen der Philomat. Gesellsch. in Elsaß-Lothringen. Band 4. 19. Jahrgang. 1911. 471—486.
- , Neuere Ergebnisse über die Gliederung und die Lagerung des Tertiärs im Kalisalzgebiete des Oberelsaß. Mitteil. d. Philomat. Gesellsch. in Elsaß-Lothringen. Band 4. 20. Jahrg. 1912. 743—764.
- , Einpressungen von Salz in Spalten der oberelsässischen Salz- und Kalisalzablagerungen. Ein Beitrag zur Frage vom Aufsteigen des Salzgebirges. Mitteil. d. Geol. Landesanst. von Elsaß-Lothringen **9**. 1916. 135—159.
- Wainwright, W. B., Borate deposits of California. Transactions of the Manchester Geological and Mining Society **31**. 1909. 60—66. Ref. Geol. Zentralbl. **16**. 1911. Nr. 1436.
- Wallace, R. C., Gypsum and anhydrite in genetic relationship. Geolog. Magazine (6). **1**. 1914. 271—276.
- Walther, J., Geschichte der Erde und des Lebens. Leipzig 1908. Veit u. Co.
- , Lehrbuch der Geologie von Deutschland. Eine Einführung in die erklärende Landschaftskunde für Lehrende und Lernende. Leipzig 1910. Quelle u. Meyer.
- , Das Gesetz der Wüstenbildung in Gegenwart und Vorzeit. 2. Aufl. Leipzig 1912. Quelle u. Meyer.
- , Salzlagerstätten und Braunkohlenbecken in ihren genetischen Lagerungsbeziehungen. Vortrag, gehalten am 23. März 1918 auf der 2. Mitgliederversammlung in Halle. Jahrb. d. Halleschen Verbandes für die Erforschung der mitteldeutschen Bodenschätze und ihrer Verwertung. 1. Heft 1919. 11—15.
- , Salzlagerstätten und Braunkohlenbecken in ihren genetischen Lagerungsbeziehungen. Kali **12**. 1918. 210—213.
- Wassereinbrüche im Kalibergbau. Kali **12**. 1918. 81—98.
- Weigand, B., Die Chemie der Kalilager. Mitteil. d. Philomat. Gesellsch. in Elsaß-Lothringen **4**. 1912. 451—464.
- Wenk, W., Über die Beeinflussung der Kristallisationsgeschwindigkeit und des Kristallhabitus des Kaliumsulfats durch Lösungsgenossen. Zeitschr. f. Kristallogr. **47**. 1909. 124—162.
- van Werweke, L., Die Tektonik des Sundgaues und ihre Beziehung zur Tektonik des Juragebirges. Mitteil. d. Geol. Landesanstalt in Elsaß-Lothringen **6**. 1908. 338.
- , Tektonische Vorgänge zur Zeit der Entstehung der Steinsalz- und Kalisalzlagerstätten. Mitteil. d. Philomat. Gesellsch. in Elsaß-Lothringen **4**. 1911. 575—582.
- , Profile durch den Unteren Keuper aus Bohrungen in Lothringen und im Rheintal. Mitteil. d. Geol. Landesanst. von Elsaß-Lothringen **8**. 1913. 103—136.
- , Stauchungen in der Lettenkohle bei Farschweiler (Lothr.) verbunden mit Abscherungen. Hinweis auf die Salzhorste Norddeutschlands. Mitteil. d. Geol. Landesanst. von Elsaß-Lothringen. **8**. 1913. 221—228.
- , Die Tektonik des Sundgaues, ihre Beziehung zu den Kalisalzvorkommen in Oberelsaß und in Baden und ihre Entstehung. Mitteil. d. Geol. Landesanst. von Elsaß-Lothringen **8**. 1913. 235—271.
- Wetzel, W., Über Schaumspat. N. Jahrb. f. Min. 1910. II, 63—79.
- , Eine Umwandlung des Gypses im Bereich der deutschen Zechsteinsalzlager. Kali **5**. 1911. 58—60.
- Wichdorf, Heß von, Der Gips- und Salzstock von Sperenberg. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. **65**. 1913. Monatsber. 141—143.
- Wilke-Dörfurt, E., u. Heyne, G., Über Doppelsalze der Chloride von Rubidium und Caesium. Ber. d. D. Chem. Gesellsch. **45**. 1912. 1012—1015.
- Wilke-Dörfurt, E., Über das Vorkommen des Rubidiums in den Kalisalzlagerstätten. Kali **6**. 1912. 245—254.
- Windakiewicz, E., Stebnik. Monographie einer ostgalizischen Saline. Berg- u. Hüttenmänn. Jahrb. **60**. 1912. 1—80. Ref. Geol. Zentralbl. **19**. 1913. Nr. 341.
- Winkel, H., Kalilager in Theorie und Praxis. Organ. d. Ver. d. Bohrtechn. 1911. 121—124.
- Winkler, L. W., Der Bromid-Jongehalt des Meerwassers. Zeitschr. f. angew. Chem. **29**. 1916. 68.
- , Der Jodid- und Jodat-Jongehalt des Meerwassers. Zeitschr. f. angew. Chem. **29**. 1916. 205—207.
- , Über den Jodgehalt des Staßfurter Sylvins und Carnallits. Zeitschr. f. angew. Chemie **29**. 1916. 342—343.
- , Vorkommen des Jods in den deutschen Kalilagern. Zeitschr. f. angew. Chem. **29**. 1916. 451—452.

- Wisniowski, T., Wiadomości o występowaniu soli potasowych w Morszynie (Über das Vorkommen der Kalisalze in Morszyn). Kosmos, Lemberg **34**. 1909. 670—677. Ref. Geol. Zentralbl. **14**. 1910. Nr. 570.
- Wittich, E., Die Salzlager am Ojo de Liebre an der Westküste von Nieder-Kalifornien. Centralbl. f. Min. 1916. 25—32.
- Wolf, E., Das Salz in Württemberg Seine Entstehung und seine Geschichte. Beilage z. Jahresber. der Oberrealschule u. d. Realgymnasiums in Heilbronn. 1912.
- v. Wölff, F., Die Bedeutung der Salzpetrographie für den Kalibergbau. Vortrag, gehalten am 23. März 1918 auf der 2. Mitgliederversammlung in Halle. Jahrb. d. Halleschen Verbandes für die Erforschung der mitteldeutschen Bodenschätze und ihrer Verwertung. 1. Heft. 1919. 15—21.
- Wolff, G., Das Kali in der Medizin. Kali **4**. 1910. 433—441.
- Wolff, W., Der Untergrund von Bremen. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. **61**. 1909. Monatsber. 348—365.
- , Zur Geologie von Helgoland. Jahrb. d. K. Preus. Geol. Landesanst. f. d. Jahr 1911. **32**. I. 1913. 183—186.
- Wolters, A., Das ternäre System Na_2SO_4 -NaF1-NaCl. N. Jahrb. f. Min. Beil. Bd. **30**. 1910. 55—96.
- Wuite, J. P., Das System Natriumsulfat-Wasser. Zeitschr. f. physikal. Chem. **86**. 1914. 349—382.
- Wunstorff, W., Der tiefere Untergrund im nördlichen Teil der niederrheinischen Bucht. Verhandl. d. Naturhist. Ver. d. Rheinl. u. Westf. **66**. 1909. 343—372.
- Wunstorff, W. u. Fliegel, G., Die Zechsteinsalze des niederrheinischen Tieflandes. Glückauf **48**. 1912. 89—96.
- , Kalisalze am Niederrhein. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. **64**. 1912. Monatsber. 28—30.
- Yale, C. G. u. Gale, H. S., The production of borax in 1912. Mineral Resources of the U. S. for 1912. 1913.
- , The production of borax in 1913. Mineral Resources of the U. S. for 1913. II. 1914.
- Zambonini, F., Über die Identität des Baeumlerit mit dem Chlorocalcit. Centralbl. f. Min. 1912. 270—271.
- Žemčuzný, S. u. Rambach, F., Schmelzen der Alkalichloride. Zeitschr. f. anorgan. Chem. **65**. 1909. 403—428.
- Zimmermann, E., Über den „Pegmatitanhydrit“ und den mit ihm verbundenen „Roten Salzton“ im Jüngeren Steinsalz des Zechsteins vom Staßfurter Typus und über Pseudomorphosen nach Gips in diesem Salzton. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. **59**. 1907. Monatsber. 136—143.
- , Über den „roten Salzton“ und den „Pegmatitanhydrit“ des jüngeren Steinsalzes. Zeitschr. f. prakt. Geol. **15**. 1907. 268—271.
- , Steinsalz mit Wellenfurchen und große isolierte Kristalle der anhydritischen Pseudomorphose aus dem Pegmatitanhydrit. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. **60**. 1908. Monatsber. 70—71.
- , Neubildungen von Steinsalz, Sylvin und Syngenit auf dem Kaliwerke Glückauf-Sondershausen. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. **61**. 1909. Monatsber. 414—415.
- , Syngenit, Steinsalz und Sylvin als allerjüngste Neubildungen im Kalisalzbergwerk Glückauf-Sondershausen. Kali **3**. 1909. 525—528.
- , Pegmatitanhydrit aus dem Jüngeren Steinsalz im Schachte der Adler-Kaliwerke bei Oberöblingen a. See. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. **61**. 1909. Monatsber. 10—16.
- , Über den Pegmatitanhydrit. Kali **3**. 1909. 309—312.
- , Der thüringische Plattendolomit und sein Vertreter im Staßfurter Zechsteinprofil, sowie eine Bemerkung zur Frage der Jahresringe. Zeitschr. d. D. Geol. Ges. **65**. 1913. Monatsber. 357—372.