

Die Bildung der Salzlagerstätten.

Eine Ueberschau des gegenwärtigen Standes dieses Problems von
Dr. Julius E n d e r l e.

Die Frage nach der Entstehung der in den Schichtgebilden der Erdrinde so weit verbreiteten Salzlagerstätten bildet, da sie für die theoretische und praktische Geologie von gleich hohem Interesse ist, schon lange den Gegenstand eifriger Forschungen. Die ältere Geologenschule suchte dieselbe durch eine ihren einseitigen Grundanschauungen vom Aufbaue des Erdkörpers entsprechende Deutung der in der Natur gebotenen Verhältnisse zu lösen, und so darf es uns nicht wundern, daß wir bei ihren Vertretern einer abenteuerlichen und heute unhaltbaren Auffassung dieses Gegenstandes begegnen. Mit der fortschreitenden Entwicklung und Klärung der prinzipiellen Anschauungen der wissenschaftlichen Geologie, dem vertieften Studium des Baues der Lagerstätten und ihrer mineralogischen Zusammensetzung, ferner seit dem Mitwirken der physikalischen Chemie bei der Lösung genetischer Probleme der Geologie sind die Vorgänge bei der Salzlagerstättenbildung in ihren wesentlichsten Punkten aufgeheilt worden. Besonders die verdienstvollen Arbeiten deutscher Forscher, so des Montangeologen C. O c h s e n i u s, des Jenenser Professors Johannes W a l t h e r und mehrerer anderer deutscher Geologen, dann die neueren Untersuchungen des Chemikers van t'Hoff und seiner Schule über die Bildungsverhältnisse der ozeanischen Salzablagerungen haben die das Problem betreffenden Detailfragen vielseitig beleuchtet und von österreichischen und russischen Gelehrten wurde manch wertvoller Beitrag zur Klärung derselben geliefert.

Was hier gemeinsame Forscherarbeit geleistet hat, liegt, wie es bei solchen umstrittenen Problemen naturgemäß der Fall ist, in zahl-

reichen Publikationen zerstreut. Da aber gerade diese Frage die Berücksichtigung aller Fachgenossen und Naturfreunde, die sich für geologische Probleme interessieren, in vollem Maße beanspruchen darf, erschien es mir nicht unzweckmäßig, eine Darstellung derselben in einer zusammenfassenden Arbeit zu versuchen. Und in diesem Sinne dürfte die nachstehende Abhandlung allen jenen willkommen sein, die nicht Gelegenheit, Muße oder Lust haben, sich durch das Studium der einzelnen Publikationen über den gegenwärtigen Stand des behandelten Themas zu orientieren.

Die Untersuchungen, deren Resultate hier zu einem Bilde vereinigt werden sollen, beziehen sich nicht bloß auf die Bildung des Steinsalzes. Die regelmäßige Vergesellschaftung desselben mit Gips und Anhydrit, sein gelegentliches Auftreten mit den sogenannten Kalisalzen und Nebensalzen anderer Art bedingen es naturgemäß, daß auch die Entstehung dieser Salze hier ihre Erörterung findet. Nicht eingeschlossen wurde aber die Genesis des Natronsalpeters, des natürlichen Natriumkarbonats und des Borax, da die Behandlung der diese Salze betreffenden Einzelfragen einen zu breiten Raum erfordert hätte.

Schon die einfache Beobachtung der Verhältnisse, wie sie sich bei dem Auskrystallisieren der Salze an den flachen Ufern von Salzseen oder beim Verdunsten des in künstlich angelegten Salzgärten eingeleiteten Meeresswassers darbieten, vermittelte dem Menschen die Erkenntnis, daß auch das Salz, das er auf der Lagerstätte im Schoße der Erde abbauen gelernt hatte, von wässriger Herkunft sein müsse. Diese Vorstellung war bereits den älteren Forschern geläufig, obwohl ihnen noch jede nähere Einsicht in den eigentlichen Verlauf und die Bedingungen einer solchen Bildung mangelte. So naheliegend nun auch diese Annahme einer neptunischen Entstehung des Steinsalzes war, fehlte es dennoch nicht an gegenteiligen Ansichten. Die plutonische Schule mußte, getreu ihrer Grundanschauung von der Entstehung der meisten Teile der Erdrinde auf feurigem Wege, auch für die Salzlager diese Bildungsweise annehmen und suchte zu beweisen, daß dieselben auf vulkanischem Wege entstanden wären. Als Stütze für ihre Behauptung mußten die oft stark gestörten Lagerungsverhältnisse gewisser Salzlager dienen, vor allem aber die an manchen Vulkanen der Jetztzeit gemachte Beobachtung, daß in der Umgebung ihrer Krater¹⁾, in den Laven und Schlacken Salzausscheidungen (von Chlornatrium, Chlorkalium, schwefel-

¹⁾ Im Jahre 1822 war die am Krater des Vesuv gebildete Kochsalzmenge eine derartig große, daß die benachbarten Dörfer sich davon ihren Hausbedarf holten, bis die Zollbehörde sie als königliches Regal in Besitz nahm. (C. Bischof, Allg. u. chem. Geologie 1864, Bd. II, pg. 5. Dasselbst weitere Beispiele).

saurem Kalke, schwefelsaurem Natron u. s. w.) auftreten. Diese zwei Hauptbeweise sind aber wenig stichhaltig und die Auffassung der plutonischen Schule mußte bald der sich immer mehr bahnbrechenden Erkenntnis des neptunischen Ursprunges aller größeren Salzlagerstätten weichen. Die gestörte Lagerung des Salzkörpers, wie sie etwa die alpinen Lagerstätten zeigen, läßt sich ja ungezwungen durch die spätere Einwirkung gebirgsbildender Kräfte auf die ursprünglich mehr oder weniger horizontal abgelagerten Schichten erklären. Salzausblühungen an Vulkanen können aber, so reichlich sie auch lokal sein mögen, niemals die Bildung so mächtiger Salzlager, wie sie uns in den Erdschichten entgegentreten, hervorrufen. Auch das in der Regel beobachtete Auftreten der Salzkörper in Linsen- oder Stockform, meist ohne deutlich ausgeprägte Schichtung, eine Art der Ausbildung, die an gewisse Intrusivmassen erinnert, kann nicht als Beweis für die vulkanische Entstehung gelten, da ja an der Grenze gegen die liegenden oder hangenden Gesteine unfehlbar eine Kontaktzone ausgebildet sein müßte. Der gewöhnlich beobachtete Mangel an Fossilien im Salze jedoch und die vorerwähnte Linsenform erklären sich auf eine höchst einfache und ungezwungene Weise durch die besonderen Vorgänge bei der Bildung eines Salzlagers, wie die weiter unten folgende Darstellung zeigen wird.

Erscheint somit aus den angeführten Gründen eine Bildung der Salzlager auf feurigem Wege ausgeschlossen, so bleibt für die Erklärung derselben nur der Absatz, der chemische Niederschlag aus mit Salzen angereichertem Wasser übrig.

Wenn die Richtigkeit der letzteren Annahme nun auch feststand, so waren doch die näheren Umstände, unter denen sich diese Bildung vollziehen konnte, sowie die Reihenfolge der salinischen Absätze unbekannt und unerforscht geblieben. Hier konnte nur das vergleichende Studium des Baues verschiedener Salzlager und das Laboratoriums-experiment die entsprechende Klarlegung bringen. Es mußte, wenn die Voraussetzungen richtige waren, die beim Abbaue von Salzlagerstätten wahrgenommene Regelmäßigkeit des Aufeinanderfolgens gewisser chemischer Gruppen im theoretischen Experimente Bestätigung finden und der Vorgang, wie ihn die Natur bei der Bildung des Lagers befolgte, beleuchtet, wenn nicht ganz erklärt werden können.

Abdampfungsversuche solcher Art wurden zuerst von Usiglio¹⁾ mit dem Mittelmeerwasser angestellt; die Resultate seiner Untersuchungen bildeten bis in die neueste Zeit die Grundlage fast aller Spekulationen über die Genesis der Salzlager. Erst im Jahre 1895 wieder wies Dr. W. Meyerhoffer in einer Abhandlung²⁾, die sich mit der Entstehung

¹⁾ Annal. de chim. et de phys. T. XXVII, pg. 172.

²⁾ Sitzungsber. d. k. Akad. Wissensch., Wien, Mathem. naturwiss. Klasse, CIV, Abtlg. II b, pg. 854.

reziproker Salzpaare und Salztraden beschäftigt, darauf hin, daß die Erfahrungen, welche von der physik. Chemie bei solchen Untersuchungen gemacht würden, von hervorragender Bedeutung für die Erklärung des geologischen Problems der Salzlagerstättenbildung werden könne.

Die von Usiglio begonnenen Studien griff erst in neuester Zeit der deutsche Chemiker van t'Hoff wieder auf, der mit allen Hilfsmitteln der modernen physikalischen Chemie in großangelegten Untersuchungen¹⁾ die Bedingungen der Salzausscheidung aus ozeanischem Wasser seit einer Reihe von Jahren verfolgt. Er bestätigt durch dieselben im wesentlichen die Resultate Usiglios, doch greifen seine Untersuchungen viel weiter, hauptsächlich auf die Genesis der komplizierten, mannigfaltigen Salzgebilde aus, welche in so staunenregender Menge und Vielgestaltigkeit aus den Staßfurter Salzrevieren gefördert wurden. So wichtig nun diese schwierigen Detailuntersuchungen über das Auskrystallisieren komplexer Lösungen in chemischer und mineralogischer Hinsicht sind, für die geologische Seite der ganzen Frage werden sie meines Erachtens stets nur relativ wertvoll sein, da gewisse natürliche Faktoren im Laboratoriumsexperiment nie nachgeahmt werden können; überhaupt ist die ganze Salzlagerbildung im geologischen Sinne nicht so sehr ein chemisch-physikalisches, als vielmehr ein klimatologisch-topographisches Problem. Von großem Nutzen für die Geologie aber werden die van t'Hoff'schen Studien besonders in einem Punkte, nämlich durch die genaue Feststellung der Erstarrungstemperaturen gewisser Mutterlaugensalze²⁾, was für die Beurteilung der notwendigen klimatischen Verhältnisse bei der natürlichen Bildung solcher Salze immer von hohem Werte sein wird.

Da fast alle bisherigen Spekulationen über Salzausscheidungen das Meerwasser zum Ausgangspunkt nahmen und dieses in gewissem Sinne als Urquell aller Salzanhäufung und -bildung zu gelten hat, ist es notwendig, zunächst die chemische Zusammensetzung desselben kennen zu lernen.

Bekannt ist der salzig-bitteren Geschmack des Ozeanwassers, welcher von der großen Menge der in ihm gelösten Salze herrührt. Merkwürdig ist dabei die stets zu beobachtende Konstanz des Verhältnisses der einzelnen Salze unter einander in den Schöpfproben, selbst wenn diese an verschiedenen beliebig weit von einander ent-

¹⁾ »Untersuchungen über die Bildungsverhältnisse der ozeanischen Salzablagerungen«. Zahlreiche fortlaufende Arbeiten unter diesem Titel in den Sitzungsberichten der Preußisch. Akademie der Wissenschaften, seit 1897. »Anwendung der Gleichgewichtslehre auf die Bildung der ozeanischen Salzablagerungen etc.« Zeitschrift f. physik. Chemie, Leipzig. Nr. 27, pg. 75, Nr. 30, pg. 64.

²⁾ van t'Hoff »Acht Vorträge über physikalische Chemie«. pg. 78 79. Braunschweig, 1902.

fernten Stellen des Weltmeeres, aber immer in entsprechender Küstenferne, entnommen wurden. Die Eindampfung des Meerwassers bis zur Trockene liefert, unter je hundert Gramm des Rückstandes:¹⁾

Kochsalz . . .	78·32 g
Chlormagnesium	9·44 „
Bittersalz .	6·40 „
Gips . . .	3·94 „
Chlorkalium .	1·69 „
Verschiedenes . . .	0·21 „
Summe .	100·00 g

Man sieht, daß drei Viertel der festen Substanzen durch das Kochsalz gebildet werden; es bewirkt den ausgeprägt salzigen Geschmack des Seewassers, während die Magnesiaverbindungen im Wesentlichen den bitteren Beigeschmack erzeugen.

Diese für das normale Ozeanwasser geltende Zusammensetzung erfährt nun allerdings örtlich beträchtliche Abweichungen. Schon an den Küsten macht sich der Einfluß der einmündenden Süßwässer im Sinken des Salzgehaltes der angrenzenden Meeresteile bemerkbar; noch mehr ist dies in seichteren Meeresbecken der Fall, die große Ströme aufnehmen. Während im offenen atlantischen Ozean der Salzgehalt durchschnittlich 35·5 Promille beträgt, ist er in der Nordsee nur mehr 34, ja in der Nähe der Weser- und Elbemündung nur mehr 32 Promille. In der Ostsee nimmt der Salzgehalt mit dem Fortschreiten nach Osten immer mehr ab, und zwar so sehr, daß er im Kieler Hafen nur mehr 15, bei Poel in Mecklenburg 13·5, nördlich von Rügen 8—9, am Eingange des baltischen Golfes 4 und im Finnischen Golfe bei Kronstadt kaum 1 Promille beträgt. Hier ist das Seewasser zur Zeit der Schneeschmelze im Frühlinge bisweilen trinkbar. In den Tiefen aber ist der Salzgehalt überall an diesen Stellen ein viel höherer. Auch das Schwarze Meer, das die großen Ströme Donau, Don u. s. w. aufnimmt, erscheint stark ausgesüßt (15—18 Promille), eine Tatsache, die schon den Alten bekannt war.

Gegenüber dieser Veränderung im Salzgehalte, die durch einmündende Flüsse hervorgerufen wurde, erscheint die lokal im Ozean auftretende Aussüßung, bedingt durch stark anhaltende Regengüsse oder schmelzende Eisberge, von untergeordneter Bedeutung.

Im Gegensatz zur Verminderung des Salzgehaltes tritt eine stärkere Anreicherung desselben ein, wenn das betreffende Meeresbecken in einer Zone liegt, wo der Verdunstungskoeffizient ein sehr hoher ist, die Zuflüsse jedoch und die atmosphärische Niederschlagsmenge geringe sind. Ein treffliches Beispiel dafür liefert das Mittelländische Meer;

¹⁾ Dr. O. Krümmel »Der Ozean.« 2. Aufl. Leipzig u. Prag, 1902. pg. 106.

im römischen Teile desselben steigert sich der Salzgehalt auf mehr als 37 Promille, im Jonischen wächst er auf 38 bis 38·5 an, bei Kreta ist er 39·5, an der syrischen Küste bis zu 40 Promille. Im Roten Meere hat man in der Nähe von 20° n. Br. sogar einen Salzgehalt von 41 Prom. gefunden. Im Suezkanale kommen die Seeschiffe mit dem stärksten Salzgehalte des Meeres in Berührung; er beträgt stellenweise 60 Promille. Diese lokal starke Anreicherung der salzigen Bestandteile hat in der geologischen Beschaffenheit der Landenge von Suez ihren Grund, indem hier Salzlager und stark salzhaltiger Boden vom Kanal angeschnitten und ausgelaugt werden. Der beträchtliche Ueberschuß über das Normale der salzigen Bestandteile beim Mittelmeereswasser rührt von der großen Verdunstung und der relativ geringen Zufuhr her. Die jährliche Verdampfungshöhe beträgt 50 englische Zoll, gegenüber 23 Zoll Niederschlags- und 10 Zoll Süßwasserzufuhrsmenge. Das Mittelmeerbecken würde bald eine konzentrierte Salzsoole enthalten, wenn nicht über die Barre, die sich unterhalb der Straße von Gibraltar befindet, stets erneuerte Wasserzufuhr erfolgen würde. Hier strömt Ozeanwasser normaler Zusammensetzung ein, und da der Riegel im Maximum die beträchtliche Tiefe von 329 *m* erreicht, geht ein Unterstrom von dichterem Mittelmeereswasser in den atlantischen Ozean zurück. Wäre die Barre höher, so würde im Laufe der Zeit eine derartige Anreicherung von Salzen im Wasser des Mittelmeeres eintreten, daß der Niederschlag desselben am Boden beginnen müßte.

Auf Grund der Angaben über den Salzgehalt des Ozeanwassers können wir nun unter approximativer Annahme des Gesamtvolumens der Meeresräume die Masse der Salze, welche im Meereswasser gelöst sind, schätzen. Nach Toula¹⁾ ergeben sich hiefür 21·2 Millionen Kubikmeter Salz; würde sich dieselbe über das ganze Areale der Weltmeere gleichmäßig niederschlagen, so gäbe dies eine Lage von 57 *m* Mächtigkeit. Für das Mittelländische Meer berechnet Toula 67.966 *km*³ Salz; dieses würde eine Schichte auf dem Boden des erwähnten Meeres von 23 *m* Dicke ergeben (bei einer mittleren Meerestiefe von 1340 *m*).

Im freien Meere findet nun trotz des relativ hohen Salzgehaltes ein Auskrystallisieren des Salzes auf dem Boden nicht statt; dies zeigten die Tiefseeuntersuchungen der Neuzeit, die nicht einen einzigen Punkt auf dem Boden des offenen Meeres entdecken konnten, der von einem derartigen Absatz bedeckt gewesen wäre. Dies erscheint allerdings sofort verständlich, wenn wir bedenken, welch hoher Konzentrationsgrad der Salzlösung erforderlich ist, um die einzelnen Salze ausfallen zu lassen. Wann nun die Ausscheidung der Salze beginnt,

¹⁾ »Salzgebirge und Meer«. Schriften des Vereines zur Verbreitung naturwiss. Kenntnisse. Wien, 1891. XXXI. Jahrgang.

Dichte des Meerwassers oder der Mutterlauge bei 12,5° C	Volumen nach der Verdunstung und Krystallisation Liter	Abscheidungen bei den verschiedenen Dichten						
		Eisen- sesquioxyd	Kalzium- karbonat	Kalzium- sulfat	Natrium- chlorid	Magnesium- sulfat	Magnesium- chlorid	Natrium- bromid
1·0258	1·000	—	—	—	—	—	—	—
1·0506	0·533	0·0030	0·0642	—	—	—	—	—
1·0820	0·316	—	Spur	—	—	—	—	—
1·1067	0·245	—	Spur	—	—	—	—	—
1·1304	0·190	—	0·0530	0·5600	—	—	—	—
1·1653	0·1445	—	—	0·5620	—	—	—	—
1·1786	0·131	—	—	0·1840	—	—	—	—
1·2080	0·112	—	—	0·1600	—	—	—	—
1·2208	0·095	—	—	0·0508	3·2614	0·0040	0·0078	—
1·2285	0·064	—	—	0·1476	9·6500	0·0130	0·0356	—
1·2444	0·039	—	—	0·0700	7·8960	0·0262	0·0434	0·0728
1·2627	0·0302	—	—	0·0144	2·6240	0·0174	0·0150	0·0358
1·2874	0·023	—	—	—	2·2720	0·0254	0·0240	0·0518
1·3177	0·0162	—	—	—	1·4040	0·5382	0·0274	0·0620
—	—	0·0030	0·1172	1·7488	27·1074	0·6242	0·1532	0·2224

darüber geben die oben erwähnten Versuche Usiglios den ersten genaueren Nachweis, und es ist für unsere weiteren Betrachtungen unerlässlich, die Hauptergebnisse seiner Untersuchungen vorzuführen.

Usiglio nahm zu seiner Untersuchung allerdings Wasser von nicht ganz normaler Zusammensetzung. Dasselbe stammte nämlich aus dem Mittelländischen Meere (aus der Nähe von Cette an der südfranzösischen Kreideküste). Dieses Wasser ist nicht nur an absolutem Salzgehalt (38·44 in 1000 Teilen), sondern auch an Kalziumkarbonat sehr reich; auch das Verhältnis des Bittersalzes zum Natriumchlorid (1:11·98) ist ein größeres als im Ozean (1:13·55).

Die Bedeutung seiner Versuche für die Theorie der Bildung von Salzlagerstätten liegt nun vor allem darin, daß wir durch sie einen Einblick in die Reihenfolge der salinischen Absätze aus Meerwasser erhielten. Usiglio ließ dasselbe in flachen Gefäßen langsam spontan verdunsten. Wie aus beigefügter Tabelle ersichtlich wird, fielen hierbei zuerst die am schwersten löslichen Verbindungen, das Eisensesquioxid und der kohlen saure Kalk, sodann mit dem Kalke Gips, u. zw. in reicher Menge, aus. Im weiteren Verlaufe tritt der Gipsabsatz zurück, die Chlornatriumablagerung setzt aber mächtig ein, begleitet von sehr schwacher Magnesiumsulfat- und Magnesiumchlorid-fällung. Später wird die Steinsalzabscheidung immer schwächer, die der Magnesiumsalze reicher, auch etwas Bromnatrium folgt mit. Bei einem spezifischen Gewichte von 1·3177 erfolgt an freier Luft kein Absatz mehr. Die leichtlöslichen zerfließlichen Verbindungen übertreffen dann das Steinsalz an Menge um mehr als das Doppelte. Die letzten 0·0162 Liter der Flüssigkeit enthalten nämlich noch in Grammen:

Chlornatrium	2·5885
Magnesiumsulfat	1·8545
Chlormagnesium	3·1640
Bromnatrium	0·3300
Chlorkalium	0·5339

In dieser von Usiglio beobachteten Reihenfolge sind folgende drei Gruppen zu unterscheiden: erstens die Unterlage der schwerlöslichen Bestandteile, von Eisensesquioxid, Kalziumkarbonat und Gips; zweitens die Hauptmasse des Steinsalzes, nahezu stets mit etwas Gips verunreinigt; drittens zu oberst fast alles Bromnatrium, alles Chlorkalium, fast alles Chlormagnesium, Magnesiumsulfat und der Rest des Chlornatriums. Diese Salze bilden das Gemisch der Mutterlauge.

Die Beobachtungen, die Usiglio in kleinen Maßstabe anstellte, mußten unter den größeren Verhältnissen der künstlich angelegten Salzgärten Bestätigung finden, allerdings auch nur in den Hauptzügen, weil hier die Bedingungen durch die größere Menge der in wechselseitige Einwirkung tretenden Stoffe, die verschiedene Zusammen-

setzung des in Anwendung kommenden Meerwassers, ferner gewisse klimatische und meteorologische Umstände beträchtlich modifiziert werden können. Ein Beispiel dafür liefern nachstehende Analysen des portugiesischen Seesalzes von Lissabon, Setubal und Aveiro.¹⁾

Bestandteile	Lissabon		Setubal		Aveiro	
	1. Ernte	2. Ernte	1. Ernte	2. Ernte	1. Ernte	2. Ernte
Unlöslich	0·045	0·008	{ 0·015 0·022	0·030 0·047	0·067	0·396
Mg S O ₄	0·565	2·337	{ 0·268 0·477	1·881 1·789	0·903	0·165
Mg Cl	0·777	2·151	{ 0·909 0·434	1·824 2·000	1·134	0·181

Aus all dem bisher Betrachteten können wir ersehen, daß es zu einer größeren Salzausscheidung nur dann kommen kann, wenn die Lösung einen bestimmten, und zwar ziemlich hohen Konzentrationsgrad erreicht hat. Es bleibt nun zu untersuchen, unter welchen Verhältnissen in der Natur eine solche Steigerung des Salzgehaltes im Wasser erfolgen kann, daß schließlich ein Niederschlag der in demselben suspendierten Massen erfolgen muß und so Veranlassung zur Bildung eines Salzlagers vorhanden ist. Ferner sind noch die besonderen Bedingungen festzustellen, unter welchen die Salzabscheidung gerade in so großem Maßstabe vor sich ging, daß Lager von mehreren Hunderten von Metern sich bilden konnten.

Hier beginnt nun der Weg der Forschung sich zu teilen. Während nämlich die neptunische Entstehung der Salzlagerstätten allerdings allen neueren Geologen als unzweifelhafte Tatsache gilt, gehen die Meinungen derselben bei Beantwortung der Frage nach gewissen Detailvorgängen der Salzlagerbildung auseinander. Einige Forscher treten für die primäre Entstehung aller größeren Salzlager, (und um diese handelt es sich zunächst), in teilweise abgeschlossenen, vom offenen Meere her aber stets neu gespeisten Dependenzen desselben ein; andere dagegen machen es an der Hand von Vorgängen, wie sie sich in der Jetztzeit vor unseren Augen abspielen, wahrscheinlich, daß die Bildung größerer Salzlager sich auch in der Vorzeit in binnenländischen Senken

¹⁾ Ochsenius »Bildung der Steinsalzlager etc.« Nova acta der kaiserl. Leop.-Carol. Deutschen Akademie der Naturforscher, Bd. XII, Nr. 4, pg. 150. Dresden, 1878. Die erste Ernte entspringt der Füllungsperiode von Herbst bis Juni; die zweite der von Juni bis Herbst.

vollzogen haben müsse. Der ursprüngliche Streit um das »Wie?« ist nun zu einem Streite über das »Wo?« geworden. Um in der Frage klar sehen zu können, müssen wir zunächst in eine nähere Betrachtung der beiden Ansichten eingehen.

Die erstere Anschauung wurde schon von den älteren Geologen vertreten. Der verdienstvolle G. Bischof (l. c., Bd. II, pg. 47/48) weist auf die Salzbildung in den teilweise oder ganz abgeschnürten Limans an den Küsten des Schwarzen Meeres zwischen Donau- und Dnjepr-mündung hin. Dort setzen sich alljährlich an den Ufern der flachen Landseen, die im Sommer teilweise austrocknen, Salzkristalle ab in Lagen von einem halben Zoll bis zu einem Fuß. Durch fortwährende Senkung solcher Küstenstrecken könnten, meint Bischof, wenn entsprechende Nachfüllung der Becken, vielleicht immer zur Zeit der Flut, eintreten würde, größere Salzlager entstehen. Da aber diese beiden Voraussetzungen in ihrer Anwendung auf die natürlichen Verhältnisse Schwierigkeiten zur Erklärung unserer Streitfrage mit sich bringen, konnte es nicht ausbleiben, daß die Wissenschaft, unbeschadet der Annahme einer limnischen, primären Bildung der Salzlager, gerade die besonderen Bedingungen, unter welcher sich eine solche Bildung ungezwungen ergeben könnte, zu erforschen suchte.

Umfassende Studien über diesen Gegenstand hat der deutsche Geologe L. Ochsenius angestellt, der sich nun durch nahezu dreißig Jahre mit den einschlägigen Fragen beschäftigt. Ihm verdanken wir einen Einblick in die Detailvorgänge bei der Salzabscheidung in abgegliederten Meeresteilen. Schon im Jahre 1877 veröffentlichte er hauptsächlich auf Grund der Erfahrungen, die man beim fortschreitenden Abbaue des merkwürdigsten Salzgebietes der Erde in der Staßfurt-Egeln'schen Mulde gemacht hatte, sein Hauptwerk »Die Bildung der Steinsalzlager und ihrer Mutterlaugensalze, unter spezieller Berücksichtigung der Flötze von Douglashall in der Egeln'schen Mulde«. Dieser Hauptarbeit folgten zahlreiche kleinere den Gegenstand betreffende Publikationen in verschiedenen chemischen und hüttenmännischen Zeitschriften, im Jahre 1893 eine größere Arbeit über Barrenwirkungen¹⁾ mit wichtigen Anregungen und Gesichtspunkten. Er muß unser Führer bei der nunmehr folgenden Darstellung des Vorganges sein, durch welchen sich, nach seiner Theorie wenigstens, die Bildung der größeren Salzlager der Erde vollzogen haben dürfte.

Da, wie oben gezeigt wurde, der zur Abscheidung nötige Konzentrationsgrad der Lösung im offenen Ozean nie erreicht wird, ist das Vorhandensein einer natürlichen »Pfanne« anzunehmen, in der sich die sukzessive Anreicherung der Salze vollziehen kann. Ochsenius sieht

¹⁾ Zeitschrift f. praktische Geologie, Jahrg. 1893.

nun als eine solche Pfanne einen bestimmten Teil des Meeres an (ein Haß, eine Bai etc.), der durch eine natürliche Barriere, die bis nahe an den normalen Meeresspiegel heranreicht, vom übrigen Meere partiell abgeschlossen erscheint. Unerlässlich ist ferner die Bedingung, daß dieser abgeschlossene Meeresteil in regenarmen, trockenen Steppen- oder Wüstenklima liegt und nur wenige oder gar keine Zuflüsse vom Lande her erhält. In einer solchen Bucht werden sich, ruhige Entwicklungsbedingungen vorausgesetzt, die Salze in der angegebenen Reihenfolge niederschlagen und es hängt dann nur von der Tiefe des Busens, der Dauer seiner intakten Kommunikation mit dem angrenzenden Meere und der Konstanz der vorausgesetzten klimatischen Verhältnisse die Mächtigkeit des sich entwickelnden Salzlagers ab, das dann auch unter den später zu erwähnenden günstigen Umständen konserviert werden kann.

Zunächst einige Worte über den Abschluß der Dependenz. Er muß unbedingt ein partieller sein. Wäre die Bucht nämlich auch vollgefüllt, der durch irgendwelche Verhältnisse (sei es Hebung, Versandung oder Sturmfluten) herbeigeführte Abschluß aber ein totaler, so würde sich — alle übrigen notwendigen, hydrographischen und klimatologischen Faktoren vorausgesetzt — doch nur soviel Salz absetzen können, als im Gesamtvolumen des im Becken vorhandenen Meerwassers enthalten ist. Und diese Salzmenge kann nur eine geringe sein; sie beträgt bloß $\frac{1}{60}$ des gegebenen Wasservolumens. Aber auch der partielle Abschluß muß eine bestimmte Form haben, um als Faktor bei der Salzabscheidung wirken zu können. Ist die Barre über Wasser (also eine Nehrung) und die Kommunikationsstelle des Haßes mit dem Meere eine einfache Verengung der Mündung ohne Tiefenänderung, so wird die Zusammensetzung des Buseninhaltes nicht wesentlich alteriert, indem die allerdings durch die Verdunstung erfolgte Anreicherung des letzteren durch den Tiefenabfluß wieder ausgeglichen wird, der seinerseits ein erneutes, verstärktes Einströmen der oberen Meerwasserschichten hervorrufen wird.

Die Barre muß also, wenn auch streckenweise über Wasser emporragend, in ihrem untermeerischen Teile eine solche Gestalt haben, daß der vorgelagerte Wall bis nahe an die Linie normalen Wasserstandes reicht; das Barrenverhältnis wird das günstigste sein, »wenn eine nach innen und außen mittelmäßig steil abfallende Barre in horizontaler Kammhöhe so dicht am mittleren Meeresspiegel hinläuft, daß der in Betracht kommende Öffnungsquerschnitt gerade nur der Quantität Meerwasser, welche an der Oberfläche des verhältnismäßig tiefen Busens verdampft werden kann, das Einfließen gestattet.«¹⁾

¹⁾ Ochsenius 1877, pg. 21.

Ist nun ein Busen in der zuletzt geschilderten, allerdings äußerst günstigen Weise vom Meere partiell abgeschlossen, so wird das eingeströmte Seewasser normaler Zusammensetzung unter dem Einflusse des warmen Klimas ziemlich rasch verdunsten. Da sich die Verdunstung bloß auf das Wasser beschränkt, tritt eine Anreicherung mit Salzen zunächst der Oberflächenschichten des Busens ein. Diese werden dichter, sinken zu Boden, dabei auch ihre höhere Temperatur den unteren Schichten mitteilend. Von der Barre her fließt neues Seewasser zu, um den Verdunstungsverlust im Haffe zu decken. Doch auch die neuen Wassermengen verfallen der Verdunstung und müssen ihr Salz dem Haffe lassen. Dieses Wechselspiel dauert nun fort und es tritt allmählich eine so starke Anreicherung des Buseninhaltes mit Salzen ein, daß das organische Leben, das bislang das Haff bewohnte, auswandern oder absterben muß. Die Seltenheit der fossilen Reste in den Salzlagern gibt uns Zeugnis, daß die Organismen in der Regel durch den Kommunikationsweg den abgeschlossenen Teil zu verlassen wußten, bevor die Salinität des Haffes ihnen gefährlich werden konnte. Nur sessile Lebensformen (Korallen, Bryozoën, Tange etc.) können dem Untergange nicht entrinnen.

Durch fortschreitende Verdunstung nimmt der Salzgehalt der Bai immer mehr zu und es erfolgt nun bei einer gewissen Sättigungsgrenze der Niederschlag der festen, schwerlöslichen Bestandteile. In erster Linie fällt das Eisenoxyd (auch Mangan), sodann das Kalziumsulfat u. zw. wasserhaltig in der Form von Gips aus. Dies geschieht, wenn das Wasser ein spezif. Gewicht von 1.129 erreicht hat. Mit dem Gipse oder kurz nachher setzen sich die geringen Mengen von kohlensaurem Kalke ab.

Würde in einem solchen Falle der Abschluß der Barre ein fester und dauernder werden, so wäre das Resultat die Bildung eines Gipslagers mit eingestreuten Kalkschnüren; die noch darüber befindliche Lösung wird nicht selten vom darunter liegenden Gips aufgesaugt. Es kann keinem Zweifel unterliegen, daß auf diese Weise ein großer Teil der Gipslager der Erde, die im Hangenden kein Steinsalz führen, gebildet wurden.¹⁾ Allerdings darf dieser Schluß nicht allgemein dort gezogen werden, wo nur ein Gipslager vorliegt, da ja auch ein bereits fertiges Steinsalzlager von dem es unterteufenden Gips nachträglich durch äußere Einflüsse entfernt worden sein konnte, wenn es es einer schützenden Decke von wasserundurchlässigem Tone, Gips oder Anhydrit entbehrte.

Setzen wir die Betrachtungen über die Verhältnisse in der Bai fort. Das Wechselspiel zwischen Zuströmen, Verdunsten, Anreicherung

¹⁾ Ein Beispiel, das hieher gehören dürfte, gibt Ochsenius in »Barrenwirkungen«, pg. 190.

und Niederschlag des Salzgehaltes dauert an. Bei einem spezifischen Gewichte von 1·218 des Buseninhaltes beginnt Chlornatrium sich niederzuschlagen. Am lebhaftesten erfolgt der Absatz bei 1·225, schwächer bei 1·241. Wird die Konzentration noch stärker, so nimmt der Niederschlag ab, hört aber nie ganz auf, desgleichen auch der von Kalziumsulfat nicht, das ja fortwährend mit dem neu einlaufenden Seewasser eintritt. Daher die häufige Mischung beider Salze in den Lagerstätten. Wo aber tatsächlich ganz reines Steinsalz auftritt, ist dies wahrscheinlich darauf zurückzuführen, daß sich der Gips bereits an dem flacheren Teile der Bai niederschlug, so daß gegen die inneren, tieferen Partien reines Chlornatrium zum Absatz gelangen konnte. Dringt mit dem einströmenden Wasser viel Tonschlamm ein, so nimmt derselbe bei dem Niedergange auch Magnesiumsulfat mit (in geringen Quantitäten); alle bittersalzhaltigen Steinsalzarten sind nämlich etwas tonig.

Im Busen befindet sich nun über dem langsam sich bildenden Steinsalzlager eine konzentrierte Mutterlauge, die aus Magnesiumsulfat, Chlorkalium, Chlormagnesium, Magnesiumborat mit etwas Kieselsäure, Chlorlithium und Jodmagnesium besteht. Diese Mutterlauge wird allmählich das Niveau der Barrenhöhe erreichen. Tritt der besondere Fall ein, daß um diese Zeit ein vollständiger Barrenschluß sich vollzieht, so haben wir ein Steinsalzflötz mit einer darüber lastenden, sehr konzentrierten Mutterlauge. Diese stagniert nun so lange, bis ein Durchbruch der Barre erfolgt und sie in das Meer zurückgelangen kann. Die Mutterlaugensalze können aber auch den Weg gegen das Land zu einschlagen und, dorthin abfließend, die benachbarten Erdschichten durchtränken. So kommt es nach der Meinung von Ochsenius, daß wir zu beiden Seiten der Karpathen oder der Anden komplette Reihen der Mutterlaugensalze in vielen Salztümpeln oder Mineralquellen treffen, die von ihrer ursprünglichen Geburtsstätte ausgebrochen sind.

Das von der Bedeckung mit der Lauge entblößte im Festwerden begriffene Steinsalzflötz ist nun ganz den Einflüssen der atmosphärischen und terrestrischen Feuchtigkeit ausgesetzt und fällt meist der zerstörenden Wirkung dieser Faktoren zum Opfer. Nur in seltenen Fällen wird ihm ein genügender Schutz durch Bildung einer wasserundurchlässigen Deckschicht zuteil. Die Bildung dieser Deckschicht wird meist dadurch begünstigt, daß bei zunehmender Bitterkeit der Bai das angrenzende Land der Vegetation ganz beraubt wird. Der nackte Boden ist nun den Einwirkungen äolischer Kräfte ausgesetzt und die Staubmassen, die vom Lande hineingeweht werden, bedingen eine Vermehrung der Salztonablagerung über dem Steinsalzkörper und verstärken den schützenden Mantel oberhalb desselben.

Ist in dem Falle, als die Bildung des Steinsalzflötzes nahezu vollendet und die darüber befindliche Wassermenge mit Mutterlauge

angereichert ist, die Barrenkommunikation noch intakt, so wird, sobald der Spiegel der Mutterlaugensalze die Barrenhöhe erreicht hat, ein Auslaufen dieser Salze vor sich gehen.

Von diesem Momente an erfolgt der Aufbau des sogenannten »Anhydrithutes« über dem Salzflötze. Der Einlauf normalen Seewassers hat sich in dieser Phase sehr vermindert, da infolge der stark angereicherten Bittersalzsoole die Verdunstungsgröße herabgesetzt ist. Die nun aus dem allerdings sehr langsam verdunstenden Meerwasser ausgefallten Salze müssen, zu Boden sinkend, die Mutterlauge passieren.

Dabei ereignet sich aber Folgendes: Der ausfallende Gips gibt, sowie er die Mutterlauge erreicht hat, sein Wasser an diese gesättigte Lösung ab und setzt sich daher als Anhydrit ab. Auf diese Weise bildet sich oberhalb des Steinsalzkörpers eine immer stärker werdende, wasserdichte Anhydritdecke, die eventuell durch Lagen von Salzton noch verstärkt wird. Beide füllen die Pfanne immer mehr aus; sie wird schließlich nahezu ganz flach und die Mutterlauge aus ihr hinausgedrängt. In Vertiefungen und kleineren Mulden der nunmehrigen Beckenoberfläche können einzelne Reste der Lauge stagnieren und bei Barrenschluß oder Hebung des Ganzen vom darunter liegenden Salzton aufgesaugt oder landeinwärts abgeführt worden sein.

Auf die geschilderte Weise entstanden nach Ochsenius alle normal gebildeten Steinsalzflötze unserer Erde; dabei ist die Mächtigkeit der so gebildeten Lager nur eine Funktion der Tiefe des Haffes und der Konstanz der notwendigen klimatologisch - hydrographischen Verhältnisse während eines längeren Zeitraumes. Gips als Liegendes, darüber das Steinsalzflötz, im Hangenden desselben der Anhydrithut mit Salzton, das ist der Bau der in regelmäßiger Weise gebildeten Salzlagerstätten. Die Bedingungen zur Bildung solcher Flötze können zu jeder Zeit und an jedem Orte gegeben gewesen sein, namentlich in früheren Erdepochen, wo ein wärmeres Klima mehr gleichmäßig über die Erde verbreitet war. Erklärlich ist es daher, daß wir in allen Formationen und an den verschiedensten Orten der Erde Salzlager vorfinden, wie die auf Seite 34 beigefügte Tabelle entnehmen läßt.

Wenn wir nun in den größeren Salzlagern, deren Bau überhaupt näher bekannt ist, die oben geschilderte gesetzmäßige Abfolge der chemischen Sedimente nur selten antreffen, so hat dies darin seinen Grund, daß die Vergesellschaftung solch idealer Verhältnisse, wie sie vorausgesetzt wurden, wenn auch vorhanden, gewiß nie lange andauern konnten. Lokale Veränderungen in der Beschaffenheit der Barre, größere Wassereinbrüche von offener See (durch Sturmfluten) oder vom Lande her, das Hineintragen von mächtigen Detritusmassen aus der Steppe oder Wüste, die ja gewöhnlich den Salzbusen umgibt, können ebensoviele Modifikationen besonderer Art hervorrufen. In jeder der ge-

System		Lokalitäten
Cambrium		Salt-Range in Vorder-Indien.
Silur		Onondaga (i. Staate New-York); Goderich (Kanada); Ohio; West-Virginien; Solen v. St. Petersburg.
Devon		Winchell in Michigan; Soolquellen in Lithauen, im Voigtlande u. Werdohl (Westfalen); Quellen v. Nauheim.
Carbon		Kanawha und New-River (West-Virginien); Englisches Carbongebiet von Durham und Bristol.
Perm		Gera, Staßfurt, Halle, Spereberg, Segeberg, Inowrazlaw, Jekaterinenburg u. a. O.
Trias	Bunt-sandstein	Heinrichshall bei Gera, Sülbeck, Arnshall; Schönebeck, Nordalpine Salzlager (Salzkammergut).
	Muschelkalk	Ludwigshall, Heilbronn, Erfurt, Stotternheim.
	Keuper	Georgenhall; Lothringen; Cheshire u. Worcestershire.
Jura		Sole von Rodenburg am Deister; Bex im Kanton Waadt.
Kreide		Nordafrika (Algier); Westphälische Soolquellen.
Tertiär		Cardona in Catalonien; Wieliczka, Bochnia, Kalusz (Galizien); Marmaros, Siebenbürgen; Italien, Sizilien, Kleinasien, Armenien.
Jetztzeit		Wüstensalzbildung in den Binnenseen Asiens, Amerikas, Afrikas u. Australiens.

schilderten Phasen konnte die Salzablagerung dauernd oder vorübergehend unterbrochen, respektive zum Abschluß gebracht worden sein. Fest steht, daß zur Erhaltung der leichtlöslichen salinischen Absätze die Bildung einer wasserundurchlässigen Decke von Gips, Anhydrit oder Ton unerlässlich war. Ueber dem so Erhaltenen konnte sich, bei einer späteren Senkung des Bodens, die Reihenfolge der Absätze wiederholen, und so setzt die Geschichte eines jeden Salzlagers von größerer Ausdehnung eine verwickelte Reihenfolge von Erscheinungen und Wirkungen voraus. Sie zeigt uns die Großzügigkeit der waltenden Natur, die wohl das allgemeine Gesetz befolgt, kleinliche Vorschriften des Theoretikers aber vornehm ignoriert.

Nur in sehr seltenen Fällen waren die Verhältnisse gegen Ende der ganzen Ablagerung derart günstige, daß es zur Erstarrung und Erhaltung der Mutterlaugensalze, der leichtlöslichsten Bestandteile des Meerwassers, kommen konnte. Voraussetzung hiefür ist, daß zur Zeit der Bildung des Anhydrithutes, und zwar gegen das Ende dieser Phase, ein vollständiger Schluß der Barre eintritt und die Zuflüsse von außen aufgehoben erscheinen. Außerdem ist, wie namentlich die Untersuchungen von E. Pfeiffer zeigen, das Festwerden der Mutterlaugensalze an eine relativ hohe Temperatur, zirka 50° C gebunden, eine Temperatur, die allerdings in warmen Klimaten nicht gerade selten ist. Aber auch alle diese Bedingungen vorausgesetzt, die Existenz der Mutterlaugensalze als Präcipitat wäre immer nur eine vorübergehende, wenn nicht noch durch einen letzten günstigen Umstand eine schützende Decke von wasserundurchlässigem Materiale über sie gebreitet würde. Das äußerst seltene Auftreten der Mutterlaugensalze ober dem normalen Steinsalzflötz zeigt nun deutlich, daß eine solche günstige Vergesellschaftung der Umstände zu den größten Ausnahmefällen gehört.

Man kennt bis jetzt nur zwei Fälle von größerer Bedeutung, in welchen die Mutterlaugensalze in den Erdschichten auf einem Salzlager erhalten geblieben sind. Das großartigere von beiden ist das Vorkommen in der Staßfurt-Egeln'schen Mulde, das kleinere das von Kalusz in Galizien. Das erstere ist zu einer großen Berühmtheit gelangt. Erstens wegen seiner großen Mächtigkeit und der chemischen Mannigfaltigkeit der dasselbe zusammensetzenden Verbindungen, vor allem aber deshalb, weil hier an mehreren Punkten bereits ausgedehnte Lager der heute für industrielle und landwirtschaftliche Zwecke so überaus wichtigen Kali- und Magnesiasalze sich vorfanden. Bei Staßfurt-Leopoldshall, wo preußisches und anhaltinisches Territorium aneinander stoßen, durchfahren die Schächte folgendes Profil:¹⁾ Die preußischen Schächte

¹⁾ Vergleiche die näheren Details im instruktiven Profile, das dem Hauptwerke von Ochsenius (1877) beigegeben ist.

bei Stassfurt gehen zunächst durch Alluvium und Diluvium, sodann durch eine mächtige Schichtenreihe von roten Letten, Lettenschiefer, Kalkstein, Hornkalken etc. Sie erreichen in zirka 200 *m* Tiefe den 50 *m* mächtigen Anhydrithut. Unter demselben direkt liegt eine schwächere Schichte von Salzton, dann aber folgt die etwa 50 *m* starke Zone der Edelsalze (Carnallit, Kainit, Kieserit). Diese endlich werden vom eigentlichen Steinsalzkörper unterteuft, dessen obere Partie unrein ist und Polyhalit ($2 \text{ Ca S O}_4 \cdot \text{ Mg S O}_4 \cdot \text{ K}_2 \text{ S O}_4 \cdot 2 \text{ H}_2 \text{ O}$) führt. Er ist noch nicht durchsunken worden. Ganz ähnlich diesem Profile ist das im benachbarten anhaltinischen Schachte. Der Agatheschacht hingegen, der wieder auf preußischem Gebiete niedergebracht ist, zeigt die Merkwürdigkeit, daß oberhalb des vorerwähnten Anhydritlagers ein mächtiger Steinsalzkörper liegt und erst darüber die Tone, Kalke und Schiefer. Noch weiter nach N.-W., bei Douglas-Bohrloch Nr. 3, findet sich unter der Ton- und Kalkdecke eine starke Bank von Gips, darunter wenig Anhydrit, sodann ein mächtiges Steinsalzflötz mit Anhydritbänken; darunter aber liegt Carnallit. Ganz im N.-W. des Profils, bei den Schächten von Douglashall, sind die Verhältnisse wieder andere. Knapp unter der Oberfläche erreichen die Schächte Gips in Wechselagerung mit Tonbänken, sodann durchstoßen sie eine zirka 100 *m* mächtige Anhydritdecke, hierauf eine starke Lage von Salzton mit Glauberit, erreichen sodann ein 100 *m* mächtiges Steinsalzlager, das mit Anhydrit und Ton verunreinigt ist. Unterhalb desselben aber ist ein mächtiges Carnallitlager erbohrt, dessen Liegendes noch unbekannt ist.

Diese Profile wurden deshalb ausführlicher beschrieben, um zu zeigen, welche komplizierte Zusammensetzung, welchen Wechsel der einzelnen Flötze ein Salzlager von größerer Ausdehnung aufweisen kann; jede Bohrung in diesem Gebiete zeigt andere Verhältnisse und auffallende Verschiedenheiten in oft recht nahegelegenen Punkten. Immerhin aber können wir aus dem Baue des südöstlichen Teiles der Mulde entnehmen, daß die Bildung großer Salzlager normaler Weise in der Art sich vollzog, wie es die Usiglio'sche Reihe voraussetzt, worauf schon E. Reichardt¹⁾ hinwies. Die Kalisalze Staßfurts sind eben die Salze der konzentrierten Mutterlauge des Meerwassers, die hier unter besonders günstigen Umständen erhalten geblieben sind. Nur die am leichtesten zerfließlichen Salze, d. h. Magnesiumchlorid, -bromid und -jodid mit Lithiumchlorid, die bei großer Ruhe des Busens die obersten Schichten der ganzen Flüssigkeitsmassen gebildet zu haben scheinen, fehlen fast völlig im Staßfurter Lager und dürften sich zum Teile noch mit der Lauge entfernt, zum Teile späterer Zerstörung zum Opfer gefallen sein. Chlormagnesium läßt einen bedeutenden Fehlbetrag in den Kalisalz-

¹⁾ Neues Jahrbuch für Mineralogie etc., 1866, pg. 349.

lagern erkennen, Brommagnesium noch mehr, denn der Bromcarnallit ist sehr schwach vertreten; Lithium ist bloß in den hangenden Salztonen hie und da auffindbar, wogegen Jod nicht einmal Spuren hinterlassen hat.¹⁾ Noch dürftiger ist das tertiäre Mutterlaugensalzlager von Kalusz in Galizien ausgestattet worden. Nach der neuen Arbeit von Niedzwiedzki (»Die Kalisalzlager von Kalusz« 1891²⁾) tritt unter einer Decke von buntem Ton, Gips und Gipston zunächst der obere Salzton (Ton mit Steinsalz) auf, und in diesem liegen langgestreckte Körper von Edelsalzen, u. zw. oben von Sylvin (bis auf 40 *m* anschwellend), darunter ein höchstens 2 *m* mächtiges Kainitlager, dem in noch größerer Tiefe eine mächtige Kainitlage, eingebettet in den unteren Salzton, folgt.

Die im vorstehenden etwas weitläufiger dargestellte Theorie von C. Oxsenius hat sehr viel Bestechendes an sich; sie scheint tatsächlich die Bildung so mächtiger Salzlager, wie wir sie in den Flötzgebirgen vorfinden, befriedigend erklären zu können. Diese Theorie wird dann eine wesentliche Stütze erfahren, wenn es gelingt, in der Jetztzeit Fälle aufzuweisen, bei welchen eine Salzanreicherung, resp. -abscheidung in derart partiell abgeschlossenen Meeresteilen sich vollzieht. An den Küsten unserer heutigen Ozeane kennen wir allerdings eine solche salzabscheidende Pfanne nicht. Haffe, durch Barren vom offenen Meere abgeschlossen, existieren aber genug. Besonders häufig erscheinen derartige Barren vor Flußmündungen. Ziemlich hohe unterseeische Riegel schließen z. B. das mittelländische Meer von dem atlantischen Ozeane ab; auch infolge der Brandung an Küstenstrichen können abgeschnürte Meeresteile gebildet werden. (Etangs im Golfe von Biskaya.) Allerdings fehlen hier heute die entsprechenden meteorologisch-hydrologischen Verhältnisse, so daß es weder zur Salzanreicherung, noch weniger zur Ausscheidung desselben gelangen kann. Ein Beispiel eines größeren salzabscheidenden Busens ist aber auch in der Jetztzeit vorhanden, und dieses müssen wir hier näher betrachten.

An der Ostküste des Kaspisees befindet sich eine große Zahl teils ganz, teils nur partiell abgeschnürter Busen, die bereits einen hohen Salzgehalt aufweisen. Namentlich ist es der gewöhnlich Karabugas³⁾ richtiger als Adsch-Darja bezeichnete Meerbusen an der Ostseite, bei dem alle für die Salzabscheidung notwendigen Voraussetzungen zutreffen und dieselbe auch tatsächlich erfolgt. Nach Karl Ernst von Baer⁴⁾ hat diese sehr flache Bucht einen Flächenraum von 18.000 *km*². Sie ist durch

¹⁾ C. Oxsenius »Barrenwirkungen«.

²⁾ Toulou C. c. pg. 556.

³⁾ Karabugas »Der schwarze Schlund« heißt nämlich bloß die Eingangspforte des Adsch-Darjabusens.

⁴⁾ »Kaspische Studien«. Ermans Journal XIV., Berlin 1854.

eine Barre vom übrigen Meere so getrennt, daß nur eine relativ schmale und seichte Öffnung übrigbleibt. Der Karabugas erhält keinen Zufluß vom Lande her, das Klima ist sehr trocken, die Verdunstung daher eine hohe. Das Becken würde sehr bald austrocknen, wenn der Verdunstungsverlust nicht durch neu zuströmendes Wasser von offener See her gedeckt würde. Nach Andrussow¹⁾ hört dieses Zuströmen auch im Winter nicht auf und erfolgt mit einer ziemlichen Geschwindigkeit (zirka 24—41 *m* per Minute in den Monaten November—März). Die in der Stunde eingeführte Wassermenge schwankt zwischen 3·7 und 7·3 Millionen Kubikmeter. Diese bedeutenden Wassermengen verdunsten nun und das in ihnen suspendierte Salz reichert den Salzgehalt des Busens immer mehr an. Eine vergleichende Gegenüberstellung²⁾ des Salzgehaltes im Kaspisee und im Adji-Darjabusen zeigt dies in auffallender Weise.

Substanz	Kaspisee bei Baku (23' Tiefe)	Adschi-Darja
Chlornatrium	8·527	83·284
Chlorkalium	—	9·956
Chlorrybidium	—	0·251
Chlormagnesium	0·304	129·377
Magnesiumsulfat	3·249	61·935
Calciumsulfat	1·074	—
Calciumcarbonat	0·055	—
Brommagnesium	—	0·193
Summe	13·209	284·996

Aus dem Adji-Darja führt sogar eine konstante Unterströmung stark bittersalzhaltigen Wassers in den Kaspisee zurück, die nach Andrussow auch im Winter nicht aufhört. Trotz dieser Unterströmung ist der Salzgehalt noch ein derartiger, daß Abscheidung eintritt. Allerdings ist das abgesetzte Salz nicht, wie man früher vermutete, Stein-

¹⁾ »Der Adschi-Darja oder Karabugas-Busen«. Peterm. Mitteilungen 1897, pg. 28 ff.

²⁾ Roth, Allgem. u. chemische Geologie.

salz. Andrussow zeigt in der zitierten Abhandlung, daß der Konzentrationsgrad des Adschidarja-Wassers 17.5° Baumé nicht übersteigt (Letztere Dichte bei einer Temperatur von 35° C). Nun erreicht aber in Mischungen, die derjenigen des Kaspischen Meerwassers ähnlich sind, das Kochsalz auch bei einer Konzentration von 22° Baumé noch nicht den Sättigungsgrad. Durch eine doppelte Zersetzung zwischen Na Cl und Mg S O₄ bildet sich Glaubersalz (Na S O₄)¹⁾, welches sich am Boden niederschlägt. Und so findet man im Adschid-Darjabusen zunächst an den seichteren, randlichen Partien eine Gipsschichte, die gegen die Mitte der Bai an Stärke zunimmt. In den mittleren Partien hingegen bildet sich eine Lage von reinem Glaubersalz, bestehend aus durchsichtigen Krystallen. Die Mächtigkeit des Glaubersalzlagers ist im Winter eine viel bedeutendere als im Sommer. Die Glaubersalzfläche wird auf zirka 3500 km² mit einem Vorrate von 1000 Millionen metrischen Tonnen Glaubersalz geschätzt.

Diese Ablagerung im Adschid-Darjabusen ist das einzige größere Beispiel einer Salinarbildung, die sich nach der oben geschilderten Theorie von Ochsenius vor unseren Augen vollzieht, und wird daher von ihm und seinen Anhängern gerne als Beleg für die Richtigkeit ihrer Anschauungen zitiert. Es läßt sich aber nicht leugnen, daß hier doch Verhältnisse vorliegen, die für die Erklärung der Genesis größerer Salzlager kein Analogon liefern können. Die Bucht, horizontal allerdings ziemlich ausgebreitet, da sie an Größe ungefähr dem Ladogasee gleicht, ist sehr seicht. Wenn daher auch der vorhandene günstige Barrenzustand so lange andauern sollte, bis der zur Ausfällung des Chlornatriums nötige Konzentrationsgrad des Busenwassers erreicht ist, und dann die Kommunikationsverhältnisse noch weiter bis zur Bildung des Anhydrit-hutes intakt bleiben, so würde dies dennoch nur zur Entstehung eines Salzlagers von ganz geringen vertikalen Dimensionen führen. Außer wir wollten hier, um zu einer größeren Mächtigkeit des sich bildenden Lagers zu gelangen, eine konstante Senkung des Beckengrundes annehmen, was aber gewiß nur eine Verlegenheitshypothese darstellen würde. Gesetzt aber auch, in der Vorzeit sei der besondere Fall eingetreten, daß ein entsprechend tiefer Meerbusen auf die oben dargestellte günstige Weise durch eine Barre partiell abgeschlossen worden und der geschilderte Vorgang des Ansaugens stets neuen Ozeanwassers in Tätigkeit gewesen, so ist es doch wenig wahrscheinlich, daß die Barre durch solch lange Zeiträume intakt geblieben sein soll, als wir z. B. zur Entstehung der riesigen permischen Salzlager, wie sie der Bergmann unter dem ausgedehnten Areale der norddeutschen Tiefebene nunmehr aufdeckt, annehmen müssen. Bei Sperenberg z. B., südlich von Berlin,

¹⁾ Vgl. Referat i. Zeitschr. f. prakt. Geologie 1898, pg. 26.

bohrte man durch 1273 *m* in Steinsalz und bei Unseburg, nicht weit von Staßfurt, durch 900 *m*, ohne das Liegende zu erreichen. Selbst wenn wir auch den meisten Schätzungen der zur Bildung von Sedimenten nötigen Zeitdauer in absoluten Zahlenangaben nur geringen Wert beimessen, eines steht jedenfalls fest, daß zur Bildung solcher Mächtigkeiten ganz bedeutende Zeiträume zur Verfügung stehen mußten. Die Schätzungen bezüglich des Steinsalzlagers des Staßfurtschen Revieres bewegen sich zwischen 2000 — 15.000 Jahren. Und während solch langer Zeiträume soll der notwendige Zustand der Barre — wenn wir auch kleinere Veränderungen derselben zulassen können, da sie von keinen bedeutendem Einflusse auf den Verlauf des ganzen Vorganges sein würden, — intakt geblieben sein? Es ist doch wenig wahrscheinlich, daß ein in der Zone von Ebbe und Flut gelegener Riegel dem fortwährenden Wechselspiel der anprallenden Wogen auf so lange Dauer standhalten wird und so durch relativ ungestörte Verhältnisse die Bildung eines mächtigen limnischen Steinsalzflötzes wird ermöglicht werden können. Auch die Barre am Adji-Darja zeigt, wenn man die der eben zitierten Abhandlung Andrussows beigegebenen Karten vergleicht, daß sie sich innerhalb zirka 50 Jahren stark verändert hat, und wir dürfen ein ähnliches Verhältnis auch von allen anderen Riegeln, selbst wenn sie nicht aus losem Sande oder Felstrümmern aufgeschüttet waren, voraussetzen; auch sie werden dem oft durch Sturmfluten herangepeitschten Wogenschwalle auf die Dauer von Jahrtausenden nicht stand halten. Ferner werden sich, wenn auch die Barre selbst intakt bleibt, innerhalb solch langer Zeit bereits die Wirkungen der positiven oder negativen Strandverschiebungen in hemmender Weise geltend machen müssen. Sind diese Zweifel berechtigt, so kann uns die Barrentheorie von Ochsenius gerade die Bildung mächtigerer Salzlager nicht erklären, sondern sie bleibt nur für die Genesis geringmächtiger Salzkörper eine mögliche Erklärung.

Von diesen Gesichtspunkten ausgehend, hat nun in den letzten Jahren eine Reihe von Geologen, vor allem Joh. Walther, E. Fraas u. a. nach einer andern Lösung dieser Frage gesucht. Sie giengen dabei von der Ansicht aus, daß zur befriedigenden Erklärung der Wirkungen von Kräften der Vergangenheit die ontologische Untersuchungsmethode den richtigen Weg zeige, ein Grundsatz, der ja seit v. Hoff u. Lyell auf allen Gebieten der Geologie so überaus fruchtbringend geworden war. Wenn wir aber in der Jetztzeit Umschau halten und die Schauplätze der heutigen Salzlagerbildung aufsuchen, so sehen wir, daß, mit Ausnahme der einzigen Ablagerung im Adji-Darjabusen, sich nirgends eine solche in beträchtlicherem Maßstabe in abgegliederten Teilen des offenen Meeres vollzieht; vielmehr ist die Entstehungsmöglichkeit größerer Salzkörper heute auf das Innere der großen Steppen- und

Wüstengebiete beschränkt, somit als eine reine Kontinentalbildung anzusehen. Namentlich Joh. Walther führt in seinem letzterschienenen ausgezeichneten Werke »Das Gesetz der Wüstenbildung« (Berlin 1900) den Gedanken, daß die Genesis mächtiger Salzlager in den meisten Fällen als eine Ablagerung in Binnenseen innerhalb abflußloser Senken sich vollzogen habe, in klarer Weise aus.¹⁾

Die Möglichkeit der Entstehung von Salzlagern in Seen ist dort gegeben, wo innerhalb eines binnenländischen Beckens in entsprechend warmer, niederschlagsarmer Gegend abflußlose Seen vorhanden sind. In diesen kann die gesamte, durch Flußläufe oder andere Rinnsale zugeführte Wassermenge zur Verdunstung kommen und eine Anreicherung, schließlich sogar ein Absatz der mechanisch oder chemisch in ihr gelöst gewesenen Salze erfolgen. Solche Salzseen treten an vielen Punkten der Erdoberfläche auf. Zahlreich finden sie sich nördlich vom Kaspischen Meere zwischen der Wolga und dem Ural. Im Gouvernement Astrachan zählt man allein über 700 salzausscheidende Seen, ferner über 1300 Salzlachen und -sümpfe. Ihr Umfang wechselt zwischen 1 bis 10 Werst (7 Werst = 1 deutsche Meile) und sie liegen teils im flachen Lande, teils sind sie von Hügeln umgeben. Der bedeutendste ist der Eltonsee in der Steppe am Ostufer der Wolga; er umfaßt zirka 200 km^2 . Er lieferte jährlich ungefähr 4—5 Millionen Pud (1 Pud = 16·38 kg) Kochsalz. Wegen der günstigeren geographischen Lage und der guten Abtransportbedingungen hat man sich jetzt darauf beschränkt, Salz aus dem 50 km westlich von der Wolga am Fuße der Bogdoberge gelegenen Baskuntschak-See allein zu gewinnen, und die Salzernte im Elton ruht seit 1882 völlig. Auf dem Grunde des Baskuntschak-Sees, der eigentlich nur im Frühlinge ein See ist, sonst trocken liegt, sind drei Salzlager aufgeschlossen, wovon das oberste 6—8, das zweite 2 m und das unterste 10 m mächtig ist; letzteres ist jedoch noch nicht durchsunken. Der See liefert 15—16% der ganzen russischen Salzausbeute etwa 45.920 Tonnen.²⁾

Salzseen finden sich weiters in den abflußlosen Depressionen Innerasiens bis zum Baikalsee, in Tibet, Vorderindien und auf Ceylon. Zahlreich treten sie in den Steppen Persiens, in Kleinasien, am Nordrande des Schwarzen Meeres, sowie in der Moldau und Wallachei auf. Das »Todte Meer« in Palästina gehört hieher. In Nordafrika sind sie in der Region des Atlas häufig, man trifft sie in der Lybischen Wüste und Ägypten an, sie fehlen auch nicht im Innern Mittel- und Süd-

¹⁾ Auch schon angedeutet in der »Lithogenesis der Gegenwart« (III. Teil des Werkes »Einleitung in die Geologie als historische Wissenschaft«. Jena 1893/94) pg. 785.

²⁾ Fürer, »Salzbergbau- und Salinenkunde«, Braunschweig 1900, pg. 275.

afrikas. In Amerika sind sie zahlreich vertreten zu beiden Seiten des mächtigen Gebirgszuges der Kordilleren. Hieher gehört der Great-Salt-Lake in Utah, die Salzseen des benachbarten Nevada und des dortigen Wüstengebietes. Salzseen finden sich auch in Mexiko, besonders zahlreich aber in Südamerika im Osten und Westen der Anden. Auch Australien ist nicht frei von Salzseen im Westen und in der Mitte des Kontinents.

Ein charakteristisches Merkmal aller dieser Seen ist sowohl der verschiedene absolute Gehalt an salzigen Bestandteilen, als auch das wechselnde Verhältnis der einzelnen Bestandteile in oft nahe beieinander liegenden Seen. Diese Unterschiede in der Menge und der Zusammensetzung des Salzgehaltes erklären sich hinlänglich durch den starken Wechsel der Bestandteile des Bodens, welchen die dem jeweiligen See tributären Wasserriesel auslaugen. Hier können die mannigfaltigsten Verhältnisse auftreten und sich kombinieren. Ist der Boden erst jüngst vom Meere verlassen worden, so sind seine oberflächlichen Schichten stark mit Salzen in dem quantitativen Mischungsverhältnisse, wie es das Meerwasser aufweist, durchtränkt. Auch die diesen Boden auslaugenden Wässer werden dann in ihrem Salzgehalt nicht viel vom Ozeanwasser differieren. Die einem Binnensee zuströmenden Flüsse und Bäche können aber auch bereits früher gebildete Salzlager anschneiden und ihm die gelösten Bestandteile derselben im Laufe der Zeiten zuführen. Beide Möglichkeiten können sich vereinigen, wie dies für die Zuflüsse des Elton-, Bogdo- und Inderskischen Sees in der aralo-kaspischen Depression gilt. Jene entnehmen das Salz zum größten Teile dem tertiären Salzgebirge Tschapschtschi, doch wird ihr Gehalt auch verstärkt durch Auslaugung des von ihnen durchflossenen Bodens, welcher ein trocken gelegter Rest des geologisch jungen sarmatischen Meeres bildet und mit Salzen imprägniert ist. Und da man für kleinere Vorkommnisse die Barrentheorie von Ochsenius als gültig betrachten kann, so wird sich an den ehemaligen Ufern des supponierten sarmatischen Meeres wohl in einigen Fällen jenes oben geschilderte Abfließen der Mutterlaugen in den an das Haff angrenzenden Wüstenboden vollzogen haben. Solche ausgestoßene und im Boden aufbewahrte Mutterlaugen können nun aufs neue in den Kreislauf einbezogen werden, was gewiß in den Bereich der Möglichkeit gehört. Nach der Meinung von Ochsenius¹⁾ ist die verschiedenartige Zusammensetzung des Gehaltes der südrussischen Salzseen an festen Stoffen darauf zurückzuführen, daß in dem Boden, der von den einmündenden Flüssen durchwandert wird, Ansammlungen und Durchtränkungen mit Mutterlaugensalzen, die aus ihrer ursprünglichen Ge-

¹⁾ Zeitschrift f. prakt. Geologie, 1893, pg. 193/194.

burtsstätte ausgebrochen sind, stattgefunden hätten.¹⁾ Es müßten in diesem Falle in der Nähe anstehende Steinsalzlager, das ursprüngliche Liegende der Mutterlaugensalze, vorhanden sein, wofür Ochsenius Beispiele zitiert.

Durch die nähere Untersuchung des aralokaspischen Steppengebietes hat sich die interessante Tatsache ergeben, daß einzelne kleinere Seen nur Sulfate, andere nur Chloride enthalten, somit eine scharfe Trennung zu bestehen scheint, die einer Erklärung bedurfte. Nach der neuen Theorie von Anikin²⁾ wird diese sonderbare Erscheinung dadurch hervorgerufen, daß während der Austrocknungsperiode Chlornatrium rasch verfestigt wird, während die Sulfate von Natrium und Magnesium später eintrocknen, die dann auf Natriumchlorid eine bröselige, leichte Masse bilden werden. Der Steppenwind verschleppt nun diese Masse und so erfolgt in dem einen Seengebiet eine Anreicherung mit Chloriden, in anderen mit Sulfaten. Daß derselbe Vorgang auch Hauptursache des oft von Jahr zu Jahr schwankenden Gehaltes eines und desselben Sees an verschiedenen Salzen ist, scheint nach den Untersuchungen von Anikin festzustehen. Auch in einem und demselben Salzbecken kann man eine zonare Anordnung der Salze beobachten. So tritt in den flachen Salz-lachen der Pampas oft eine Trennung in der Weise ein, daß an den randlichen Partien das schwefelsaure Kalzium sich niederschlägt, während sich Chlornatrium in der Mitte so rein ansammelt, daß es gewonnen und als Speisesalz verbraucht werden kann. Ueber eine ähnliche Trennung der einzelnen salzigen Verbindungen berichtet Clarence King³⁾ von den Rändern des großen Salzsees in Utah und La Conte⁴⁾ vom See Rhodes Marsh in Nevada.

Unter den Salzseen der Gegenwart beanspruchen zwei ein größeres Interesse. Es sind dies das sogen. »Todte Meer« in Palästina und der große Salzsee in Staate Utah (N.-Amer.). Das Todte Meer,

¹⁾ Die ganz ungleichmäßige Durchtränkung des Steppenbodens mit Salzen zeigen die Analysen des Wassers zweier benachbarter, in den Eltonsee einmündender Bäche:

Salzbach Charysacha		Gorkoi Jerik	
40·65	Natriumchlorid	16·83	Natriumchlorid
5·20	Magnesiumchlorid	1·65	Magnesiumchlorid
2·83	Magnesiumsulfat	2·07	Calciumchlorid
1·24	Calciumsulfat		

(Ochsenius »Das Gesetz d. Wüstenbildung«. Entgegnung an J. Walther im Geolog. Zentralblatt, 1902, pg. 552 ff.)

²⁾ Annuaire geolog. et mineral. d. l. Russie. 1898, Vol. III. Cioce 4 — 6.

³⁾ »Report of the Geogr. und Geol. Exploration of the Fortieth Parallel, Vol. II, pg. 434.

⁴⁾ Fürer, pg. 19.

10 deutsche Meilen lang und 23·3 Quadratmeilen groß, liegt 392 *m* unter dem Spiegel des mittelländischen Meeres in einer Senke der Jordanspalte, die nach E. Sueß nichts anderes als die Fortsetzung des großen ostafrikanischen Grabens darstellt. Es ist stellenweise über 300 *m* tief. Das Todte Meer, der größte Salzsee Asiens, ist abflußlos und stand nach den Ausführungen von L. Lartet¹⁾ niemals mit dem Rothen oder Mittelländischen Meere in Verbindung. Es verdankt seinen heutigen hohen Salzgehalt ausschließlich der Verdunstung des Wassers, das ihm der Jordan zuführt. Die Gewässer des Todten Meeres befinden sich im Zustande einer infolge dieser langdauernden Verdunstung salziger Wasser entstandenen Mutterlauge, deren großer Chlormagnesiumgehalt (65 % des Salzgehaltes, dieser 25 % des Seewassers) darauf hindeutet, daß sich bereits viel Chlornatrium ausgeschieden habe. Die chemische Zusammensetzung des Wassers des Todten Meeres ist nach einer Analyse von H. Fleck²⁾ (1881) folgende:

Chlornatrium	6·2438
Chlorkalium	1·4250
Chlorcalcium	2·9811
Chlormagnesium	10·8015
Schwefelsaures Calcium .	0·1021
Bromnatrium ³⁾	0·4236
Summa . .	21·9771

Der Jordan, der Hauptzufluß, ist relativ sehr salzreich, und zwar hauptsächlich an Chlornatrium und Chlormagnesium; in 100.000 Teilen führt er von dem einen 52, von dem andern 30 Teile. Er gehört zu den salzreichsten Strömen der Erde. »Entweder« sagt Bischof (Chem. Geologie, II. Bd. 2. Aufl., pg. 51), »ist daher das ganze Flußgebiet des Jordan von Chlorüren durchtränkt oder der See Tiberias, aus dem dieser Fluß kommt, enthält eine ungewöhnliche Menge Chlorüre. Hitchcock vermutet, daß die heißen Quellen an der westlichen Küste dieses Sees, deren Geschmack überaus salzig und bitter ist, der Hauptgrund der eigentümlichen Zusammensetzung des Todten Meeres seien. Das Bezeichnende des Wassers des Todten Meeres ist, wie bereits oben angedeutet wurde, das Ueberwiegen von Chlormagnesium über Chlornatrium neben dem fast gänzlichen Fehlen der Sulfate, dann dem hohen Gehalte von Brommagnesium und Chlorcalcium. Nach Lartet⁴⁾

¹⁾ Rothe, pg. 174, (Fußnote 5).

²⁾ Fürer, l. c. pg. 21. Aeltere Analysen in Roth, Chem. Geologie, I, pg. 474 — 481.

³⁾ Fürer l. c. zitiert »Bromnatrium«, Bischof jedoch gibt das Brom als an Magnesium gebunden an.

⁴⁾ Roth l. c. pg. 478.

ist der große Bromgehalt des Todten Meeres auf die Zufuhr durch unterirdische Quellen zurückzuführen, wie überhaupt die Mitwirkung von Mineralquellen bei der sonderbaren Zusammensetzung des Wassers im Todten Meere wahrscheinlich wird. Da die Ausfällung von Chlornatrium bei dem Vorhandensein von Chlormagnesium und Chlorkalium besonders energisch vor sich geht, so folgt daraus, daß der Absatz von Steinsalz am Boden des Todten Meeres bei der jetzigen Zusammensetzung des Wassers ununterbrochen sich vollzieht. Wir haben also, in diesem Becken eine durch fluviatile Zufuhr von Salzwasser, ferner durch Speisung mit Mineralquellen sowie infolge der starken Verdunstung des Wassers¹⁾ bedingte kontinuierliche Steinsalzbildung und zugleich die Entstehung einer Mutterlauge vor uns. Aus dem schließlichen Eintrocknen dieser Lauge bei etwaigem Abschlusse aller Zuflüsse würde ein wesentlich aus Chlormagnesium, daneben aus Chlornatrium, Chlorcalcium, Chlorkalium und Brommagnesium bestehende Salzablagerung resultieren.

Der große Salzsee von Utah ist nach den Untersuchungen amerikanischer Geologen der letzte Ueberrest eines ursprünglich 500 *km* langen, 200 *km* breiten Süßwasser-Sees (Bonneville-See genannt), dessen Wasserstand, wie aus alten Uferlinien hervorgeht, mehr als 300 *m* über den jetzigen Seespiegel emporreichte. Das Bonneville-Bassin besaß bis zu einer gewissen Zeit einen Ausfluß durch den Red-Rock-Pass²⁾ nach Norden. Dann wurde das Gebiet abflußlos und durch andauernde Verdunstung schrumpfte der See bis in seine jetzigen Grenzen zusammen. Die Tiefe des heutigen Sees beträgt 4 — 12 *m*, sein spezif. Gewicht ist nach den letzten Messungen³⁾ 1·168 (das des Ozeanwassers beträgt nur 1·025). Nach Ochsenius (Zeitschr. der deutsch. geolog. Ges. 1882, pg. 357) hat es 15·67 % fester Bestandteile. Eine Analyse zeigte folgende Zusammensetzung des Wassers (Ochsenius l. c.):

Chlornatrium	90·072
Natriumsulfat	8·179
Magnesiumchlorid	1·124
Calciumchlorid	Spur
Verlust	0·624
Summe	99·999

¹⁾ G. Bischof (l. c. pg. 49, Anmerkung 1) erwähnt, infolge der großen Verdunstung im Sommer liege über dem Todten Meer ein so dicker Nebel, daß die Einwohner von Jericho die südliche Küste nie zu Gesicht bekommen.

²⁾ Joh. Walther »Die Denudation in der Wüste«. Verhandlungen des X. deutschen Geographentages, 1893, pg. 145.

³⁾ Nach H. F. Moore; Referat in den »Verhandlungen der Gesellschaft f. Erdkunde«. Berlin, 1900, pg. 345.

Aus der Analyse erkennt man die bereits starke Anreicherung mit Chlornatrium. Dasselbe kann in der Tat mit großer Leichtigkeit im Sommer in Salzgärten gewonnen werden, wo es in vollen großen Würfeln auskristallisiert. Die freiwillige Verdunstung liefert an den Rändern des Sees zu oberst Sulfate von Natrium und Magnesium, ehe sich Chlornatrium in entsprechender Menge niederschlägt. Doch ist auch der Niederschlag dieses Salzes auf die randliche Zone beschränkt, da das Wasser des Salzsees noch nicht so vollständig mit Chlornatrium gesättigt ist, daß es auf dem ganzen Boden ausfallen könnte.

»Ziehen wir eine Parallele zwischen dem Great-Salt-Lake und dem Todten Meere, so zeigt sich der Unterschied, daß jener eine fast reine Lösung von Kochsalz darstellt, aus der sich noch kein Kochsalz ausgeschieden hat, während dieses die zerfließlichsten Chlorüre, namentlich das Magnesiumchlorid, in verschiedener Menge enthält und daher als eine Mutterlauge zu betrachten ist, aus welcher sich viel Kochsalz ausgeschieden hat. Der große Salzsee wird daher, wenn sich aus ihm gleichfalls Kochsalz ausscheidet, seine Zusammensetzung ändern und sie wird der des Todten Meeres ähnlich werden. Der Salzgehalt des ersteren ist überhaupt auch viel geringer als der des letzteren, welcher 27·83 — 35·72 % beträgt. Der Kochsalzgehalt ist jedoch im Wasser des Great-Salt-Lake bei weitem größer als in dem des Todten Meeres, welcher zwischen 8·41 und 15·95 % schwankt«.
(G. Bischof, l. c. II. Bd., pg. 71).

Woher nimmt nun der große Salzsee seinen Reichtum an Salzen ? Auch ihm wird derselbe durch die einmündenden Flüsse und Bäche zugeführt. Und zwar erhalten die letzteren ihren Salzgehalt wahrscheinlich durch die Auslaugung der posttriadischen Salzflötze im Innern und am Ostabhange des Wasatch-Gebirges. Allerdings läßt das Wasser des Hauptzuflusses zum Great-Salt-Lake, des Bear River, keinen Salzgeschmack erkennen; doch ist dies auch beim Wasser des Jordan der Fall, der trotzdem eine Hauptquelle des hohen Salzgehaltes des Todten Meeres darstellt. Durch die lange Zeitepoche, die der ehemalige Bonneville-See zur Reduktion auf seinen heutigen Umfang, den großen Salzsee, brauchte, konnte die nunmehrige Anreicherung des letzteren mit Salzen auch durch sehr schwach gesalzene Flüsse erfolgen.

Bei dieser Gelegenheit sei auch der merkwürdigen Hypothese des Geologen Posepny¹⁾ gedacht, welcher in der unten zitierten Abhandlung die Durchsalzung der nordamerikanischen Steppengebiete fast ausschließlich durch solche Salze herbeigeführt wissen will, die einst in

¹⁾ »Zur Genesis der Salzablagerungen, besonders jener im nordamerikanischen Westen«. Sitzungsber. d. kais. Ak. d. Wissensch., Bd. LXXVI, pg. 179. Wien, 1877.

Form von Salzwasserdampf durch Winde vom Meere her in das Steppengebiet getragen worden und dort zum Niederschlag gelangt seien. Ja Posepny geht soweit, diese angenommene Ursache für alle Steppengebiete der Erde als geltend zu bezeichnen. Kurze Zeit nach Erscheinen dieser Publikation konnte aber Dr. C. Tietze in einer größeren kritischen Arbeit¹⁾ diese einseitige Anschauung Posepny's zurückweisen, indem er vor allem auf die merkwürdige Tatsache hinwies, daß gerade die versalzensten Gebiete der Erde, die oft von hohen Randgebirgen umwallten Plateaus der Salzsteppen, durch große Meerferne ausgezeichnet sind und zugleich die niederschlagsärmsten Gebiete vorstellen, die wir auf Erden kennen. Ferner wäre bei der einheitlichen Zusammensetzung des Ozeanwassers doch auch eine mehr gleichförmige Zusammensetzung der einzelnen salzigen Binnenseen zu erwarten; nun zeigen aber gerade oft ganz nahe beieinander gelegene Becken einen auffallend verschiedenen Salzgehalt, der nur durch veränderte lokale Verhältnisse erklärt werden kann. Anstehende Salzlager aus früheren geologischen Epochen werden, aufs neue in den ewigen Kreislauf der Stoffe einbezogen, dem Steppengebiete das meiste Salz zur Bildung neuer Salzlager liefern. Doch ist auch diejenige Salzmenge, die bei der chemischen und äolischen Verwitterung der Gesteine selbst entbunden wird, ein wichtiger Faktor bei der zunehmenden Versalzung eines abflußlosen Gebietes. Urgesteine enthalten mikroskopische akzessorische Chlormineralien²⁾ in relativ großer Menge; als wichtigste Quelle löslicher salziger Verbindungen sieht jedoch Walther³⁾ die marin entstandenen Gesteine an. Marine Sedimente müssen bei ihrer Bildung Meerwasser in ihren Poren aufgenommen und seinen Salzgehalt konserviert haben. Nach gewissen Schätzungen glaubt Walther die Menge des so in den Gesteinen erhaltenen Salzes mindestens auf ein Perzent der Gesamtmasse des Gesteins veranschlagen zu dürfen. Die eigenartige Verwitterung in der Wüste, die Walther in so ausgezeichnete Weise zu schildern versteht, bedingt es, daß trotz des Mangels an tief erodierenden Wasserläufen die Gesteine zerklüftet, zerlegt und sukzessive ihres Salzgehaltes beraubt werden, wobei durch den so merkwürdigen Vorgang einer kapillaren Diffusion sogar aus dem Innern der äußerlich unverändert aussehenden Gesteine die Salze herausgesaugt werden. Auch diese Salzausblühungen fallen dann dem Wüstenregen zum Opfer und

¹⁾ »Zur Theorie der Entstehung der Salzsteppen und der angeblichen Entstehung der Salzlager aus Salzsteppen«. Jahrb. d. geolog. Reichsanstalt, 1877. pg. 341 ff.

²⁾ Vgl. die Zitate bei Dr. O. Kuntze »Geogenetische Beiträge«. Leipzig, 1895, S. 37.

³⁾ »Das Gesetz der Wüstenbildung«, Berlin, 1900, pg. 143.

werden den tieferen Stellen des Binnenbeckens zugeführt und so vollzieht sich die allmähliche Anreicherung der letzteren mit Salzen. Wenn z. B. ein Gebiet von 1000 Quadratmeilen Fläche mit marinen Gesteinen von 100 *m* Mächtigkeit bedeckt ist und alle fließenden Gewässer in einer Depression von 10 Quadratmeilen Fläche verdampfen, so muß hier ein »Meeres«-salzlager von 100 *m* Mächtigkeit entstehen.¹⁾

Diese Art der Salzbildung setzt freilich eine quantitativ gewaltige Zerstörung der Gesteine des Beckens voraus. Große Detritusmassen werden geschaffen und den tieferen Stellen des Beckens zugeführt. Der Einwand aber, den O. M. Reis²⁾ gegen die Walther'sche Theorie macht, daß nämlich bei kontinentaler Entstehung der Salzlager in den Zentralregionen der Senken, die zugleich auch die Hauptentfaltung der salinischen Gebilde zeigen werden, in deren Unterlage und innerhalb des Salzkörpers selbst gewaltige Detritusansammlungen sich vorfinden müßten, scheint mir nicht stichhältig. Selten wird ein Binnenbecken ganz gleichmäßig geneigte Muldenwände mit einer zentralen Senkung aufweisen, sondern immer eine Gliederung in mehrere, höher oder tiefer gelegene Teilbecken erkennen lassen. Das gröbere klastische Material wird daher von den abtransportierenden Wässern schon in den höher gelegenen Mulden oder selbst an flacheren Teilen des Hauptbeckens abgesetzt werden können, so daß in den zentralen Teil derselben vor und während der Salinarbildung gerade keine größeren Detritusmassen verfrachtet zu werden brauchen.

Die Binnenseen sind gewöhnlich von geringer Tiefe, die nur infolge der wechselnden Wasserzufuhr und der hohen Verdunstung Schwankungen unterliegt. Doch zeigt das Beispiel des Todten Meeres mit seiner Tiefe bis über 300 *m*, daß auch in einem Binnensee die Voraussetzungen zur Bildung eines mächtigen Salzlagers gegeben sein können, was für die Beurteilung unserer ganzen Frage von Wichtigkeit erscheint. Denn gerade im Hinblick auf die oft mächtigen Salzflötze, für welche die Theorie von der Bildung in Seen unhaltbar zu sein schien, stellte Ochsenius seine Barrentheorie auf. Dieselbe entstand unter dem Eindrucke, den die ganz außergewöhnlichen Verhältnisse der norddeutschen Salzlager hervorriefen. Hier wurden an einzelnen Stellen Mächtigkeiten bis über 1000 *m* in einem Salzkörper erbohrt und der Abbau zeigte ebenfalls ganz beträchtliche vertikale Dimensionen. Ob aber derartige großartige Verhältnisse noch an vielen Punkten des

¹⁾ Walther l. c., pg. 146.

²⁾ »Der mittlere und untere Muschelkalk im Bereiche der Steinsalzbohrung zwischen Burgbernheim und Schweinfurt«. Geognostische Jahreshefte, 1901, München, pg. 118.

von Ochsenius supponierten norddeutschen Zechsteinbusens¹⁾ vorherrschten und ob sich namentlich nicht einige der auffallendsten Mächtigkeiten (Sperenberg, Unseburg) durch stark geneigte Schichtstellung²⁾ erklären lassen, wird der fortschreitende Bergwerksbetrieb entscheiden müssen; Bohrungen allein können in dieser Beziehung nicht die nötige Klarheit schaffen. Die durch Abbau erschlossenen Lager aber zeigen Dimensionen, die, an sich wohl bedeutend, doch wieder nicht solche genannt werden können, daß die Annahme ihrer Entstehung in Binnenseen als unmöglich oder auch nur unwahrscheinlich von der Hand zu weisen wäre. Bei der so überaus weiten horizontalen Erstreckung der permischen Salzvorkommnisse unter der norddeutschen Tiefebene mag es vielmehr gewagt erscheinen, alle diese Bildungen ausschließlich auf einen rein marinen Ursprung zurückführen zu wollen. Die Wahrheit wird auch hier den goldenen Mittelweg einhalten.

Ein Zechsteinbinnenmeer von der erwähnten Ausdehnung wird unter besonderen Verhältnissen, die vielleicht dem unseres heutigen Mittelmeeres glichen, eine Anreicherung seines Salzgehaltes erfahren haben. An seinen Rändern aber erst trat in Buchten und Haffen, die durch entsprechende Barren partiell abgeschlossen waren, Konzentration und schließlich Salzabscheidung ein; es bildeten sich Salzlager, die aber aus den oben angegebenen Gründen nicht besonders mächtig geworden sein können. Solche randliche Teile des Zechsteinmeeres wurden, samt den etwa schon fertigen Salzlagern, später durch den Einfluß umgestaltender geologischer Kräfte als Relikte abgegliedert und zu abflußlosen Seengebieten, »in welche hauptsächlich vom Süden, vielleicht auch vom Norden her die Gewässer Abfluß fanden und die salzigen Ueberreste des einstigen Zechsteinmeeres diesen Niederungen zugeführt. Klimatische Verhältnisse brachten es mit sich, daß dort die Verdampfung in den Seengebieten größer war als die Zufuhr durch die Ströme, und so konnte sich dort aus übersättigten Lösungen jene fabelhafte Menge von Kochsalz niederschlagen, welche heute noch das Erstaunen aller Geologen hervorrufen. Durch Steigerung des Mißverhältnisses zwischen Verdampfung und Wasserzufuhr konnten schließlich auch noch die

¹⁾ Ochsenius (Bildung der Steinsalzlager etc., 1877, pg. 54) nimmt folgende Erstreckung desselben an: »Teutoburger Wald, Weserbergland, nordöstl. Harzrand (mit Vorsprung von Grauwacke, Zechstein u. s. w. in nordwestlicher Richtung als nördliche Begrenzung des Magdeburg-Halbestädter-Beckens), sächsisches Bergland, der sudetische Zug, Sandomirer Erhebung, polnische Hügelketten über die Narewquellen nach dem Frischen Haff (vielleicht als buchtige Fortsetzung der Hebung- und Senkungsgrenze im nördlichen und nordöstlichen Europa, welche über Jütland, Seeland und Rügen kommt), preußischer, pommerscher und mecklenburger Landesrücken mit der Ostholsteinischen und Schleswig'schen Hügelreihe, und hinüber nach Helgoland.«

²⁾ Neumayr »Erdgeschichte«, 2. Aufl., II. Band, pg. 553.

leichter löslichen Salze zur Ausfällung kommen. Und diese ganz abnormen Verhältnisse können wir uns nur in einem trockenen Wüstenklima, das an dasjenige der Sahara oder der Wüste Atacama erinnert, denken. Eine nicht auf wässerigen, sondern trockenen Wege entstandene Ablagerung mußte die Salzlage bedecken, um sie späteren lösenden Einflüssen unzugänglich zu machen und sie zu erhalten. Diese Bedingung erfüllt aber nur der trockene glühende Wüstensand und -staub, der nicht durch Wasser, sondern durch Wind transportiert wurde.¹⁾«

Die vorstehend gegebene Ansicht schließt natürlich nicht aus, daß einige der aufgedeckten Lager als primäre limnische Gebilde des Zechsteinmeeres erhalten geblieben sind; für die Mehrzahl derselben, besonders für die mächtigeren, bleibt die binnenländische Entstehung die wahrscheinlichere Annahme. Auch für die meisten triadischen Salz- und Gipslager habe erst jüngst E. Fraas²⁾ und W. Branco³⁾ die letztere Bildungsart angenommen und ihre Anschauungen in überzeugender Weise dargestellt. Die miocänen mittelspanischen Gips- und Salzlager können ebenfalls nach der Meinung A. Pencks (Zeitschrift der Gesellschaft f. Erdkunde, Berlin 1894, pg. 126/127⁴⁾) aus geologischen Gründen nicht marinen Ursprungs sein und er nimmt daher für sie kontinentale Entstehung an. Und in jüngster Zeit hat Joh. Walther⁴⁾ mit Recht betont, daß die Frage nach der Genesis eines bestimmten Salzlagers nicht durch eine einseitige Spekulation, sondern nur unter Berücksichtigung aller Momente, besonders auf grund der geologischen Untersuchung der Liegend- und Hangendgebilde und der etwaigen paläontologischen Funde zu lösen sei. Viele Salzlager, die aber gerade in Bezug auf ihre paläontologische Beschaffenheit genauer untersucht sind,⁵⁾ lassen ein vollständiges Fehlen von Resten mariner Tiere oder Pflanzen erkennen, während die vorgefundenen Fossilien auf einen terrestrischen Ursprung hinweisen. Eine Deutung dieses Befundes ist nicht schwer; er fällt ebenfalls zu gunsten der binnenländischen Entstehung der Salzlager aus.

¹⁾ Eb. Fraas »Die Bildung der germanischen Trias, eine petrogenetische Studie«. Jahreshefte d. Vereines f. vaterländische Naturkunde in Württemberg, 1899, pg. 42.

²⁾ Ibidem, pg. 63, 65, 85 u. s. w.

³⁾ »Das Salzlager bei Kochendorf am Kocher und die Frage seiner Bedrohung durch Wasser. Jahreshefte d. Vereines f. vaterländische Naturkunde in Württemberg 1899.«

⁴⁾ »Die Entstehung von Salz und Gips durch topographische oder klimatische Ursachen.« Geolog. Zentralblatt, 1903, pg. 211.

⁵⁾ Walther gibt in der letztzitierten Abhandlung mehrere solcher Beispiele. (pg. 215).