

Die chemische Denudation — ein Chronometer der geologischen Zeitrechnung

Von **Val. Ritt. v. Łoziński**

I.

Die Frage nach dem Alter der Erde beschäftigt seit Jahrzehnten die Geologen, von denen viele sich bemüht haben, zu einem positiven Resultat zu kommen, ohne aber eine endgiltige Lösung eines der anziehendsten Probleme der Geologie gefunden zu haben. Die auf verschiedenem Wege ermittelten Zahlen gehen weit auseinander und beweisen dadurch, von welcher ungleichen Werte die geologischen Momente sind, die den Berechnungen des Alters der Erde zugrunde liegen. Als die erste Anregung auf diesem Gebiete der geologischen Wissenschaft dürfen die Versuche Buffons in den Siebzigerjahren des 18. Jahrhunderts gelten. Aus der Abkühlung geschmolzener Gusseisenkugeln wusste der geniale Gelehrte des 18. Jahrhunderts eine absolute Zeitdauer zu bestimmen für eine jede der sieben Epochen, in die er die Erdgeschichte eintheilte. Bei den erwähnten Experimenten wurden Kugeln von verschiedener Größe angewendet, und dieser Umstand leitete Buffon zu dem Versuche, seine keineswegs annehmbaren Zahlen auch für den Mond und die Planeten des Sonnensystems anzupassen. Erst aber seitdem G. Bischof eine Wiederholung der Buffonschen Versuche an Basaltkugeln unternahm und deren Resultat im Jahre 1837 bekanntmachte, begann ein wissenschaftliches Treiben auf dem Gebiete der Altersbestimmung der Erde, und heute erfreut sich diese Frage eines überaus inhaltsreichen Literaturnachweises, in dem die Namen berühmter Forscher glänzen.¹⁾ Man verfolgte mannigfache Methoden, um das Alter der Erde zu ermitteln, manch geologischer Factor wurde zu diesem Zwecke in Betracht genommen, unter ihnen auch die chemische Denudation, die von Mellard Reade als Chronometer der geologischen Zeiträume anerkannt

¹⁾ Ausführliche Zusammenstellungen diesbezüglicher Versuche haben gegeben:

E. Koken, Die Vorwelt und ihre Entwicklungsgeschichte. Leipzig 1893. S. 46 ff.
R. Hoernes, Geol. Zeitrechnung; Kennigotts Handwörterbuch der Min., Geol. und Pal. Breslau 1887. Bd. III, S. 620 ff.

Muschketoff, Fis. Gjeol., tom I, 2. isd. St. Petersburg 1899. S. 189—194.

Marr, Princ. of Strat. Geol. Cambridge 1898. S. 294—295.

Lapparent, Le globe terrestre III; La destinée de la terre ferme et la durée des temps géol. Paris 1899.

und behandelt wurde. Den Streit der Physiker und Geologen um das Alter der Erde hat Archibald Geikie geschildert.¹⁾ In seinem „Presidential-Address“ hat der englische Forscher die Mängel der bisherigen Versuche klargelegt und dem internationalen Geologencongress anempfohlen, ein wissenschaftliches Sammeln der Angaben über den Betrag der Denudation aus allen Welttheilen einzuleiten, um die Ermittlung des Alters der Erde an der Hand einer Fülle von Erfahrungen in der Zukunft zu ermöglichen.

Bald nach dem Erscheinen von A. Geikies „Presidential-Address“ hat Dr. Eugen v. Romer,²⁾ Privatdocent für Geographie an der Universität Lemberg, den schon von Mellard Reade ausgeführten Versuch unternommen, aus dem Salzgehalt des Fluss- und Meerwassers das Alter der Erde zu bestimmen. Dr. v. Romer schließt sich der von Halley aufgestellten, von Boguslawski, Kuntze u. a. befürworteten Theorie über den Ursprung der im Wasser des Weltmeeres aufgelösten Salze an. Sich auf die von Krümmel³⁾ und Murray⁴⁾ ermittelten Zahlen über den Wasservorrath der Erde stützend, kommt er zu dem Schlusse, dass ein Zeitraum von 52217 Jahren erforderlich sei, damit die ganze Wassermasse der Meere durch die ihnen zuströmenden Flüsse erneuert werde. Aus den Analysen, die G. Bischof und J. Roth in ihren Lehrbüchern der chemischen Geologie zusammengestellt haben, hat Dr. v. Romer gefunden, dass der Gehalt des Seewassers an Chlornatrium 3000mal so hoch ist als jener des Flusswassers, dass somit seit dem Erscheinen der irdischen Wasserhülle sich die Erneuerung des gesammten Meerwassers durch das der Flüsse 3000mal vollzogen hatte. Auf Grund der obgenannten Ziffern wurde für das Alter der Erde ein Wert von circa 160 Millionen Jahren aufgestellt.

Auf diese Weise gelangt Dr. v. Romer zu einem Resultat, das die Grenzen überschreitet, die Walcott aus der Betrachtung der chemischen Denudation dem Alter der Erde gezogen hat: „Die geologische Zeit ist groß, aber sie ist nicht von unbeschränkter Dauer. Ich glaube, sie kann mit Zehnern von Millionen, aber nicht mit einzelnen Millionen oder mit Hundertern von Millionen Jahren gemessen werden.“⁵⁾

Bevor ich es mir erlaube, das Calcul Dr. v. Romers genauer zu prüfen und einige sich darauf beziehende Fragen zu berühren, scheint es angemessen zu sein, auch andere Versuche zusammenzustellen, die auf dem Betrag der chemischen Denudation und besonders auf dem Salzgehalt der Flüsse und des Meeres basieren, wobei in erster Linie des um dieses Problem hochverdienten englischen Forschers Mellard Reade zu gedenken ist.

II.

Es behauptet Dr. v. Romer, einen ganz neuen Gedanken ausgesprochen, auf eine neue Bahn die Frage nach der approximativen Altersbestimmung unseres Planeten gebracht und gezeigt zu haben, dass der Salz-

¹⁾ Le temps géol. Rev. scient. Nr. 16, 14. October 1899.

²⁾ Das Alter der Erde. „Kosmos“ (poln.) XXV, 1. Lemberg 1900.

³⁾ Morph. der Meeresräume 1879, S. 71.

⁴⁾ Meteor. Zeitschr. 1887, Ref. S. [63].

⁵⁾ Neues Jahrbuch für Min., Geol. und Pal. 1893, I, Ref. S. 274 ff.

gehalt des Meeres auch ein Maßstab der geologischen Zeiträume sei.¹⁾ Ja Dr. v. Romer geht in seiner Abhandlung noch weiter, indem er sogar seine Verwunderung darüber nicht unterdrückt, dass die nothwendigen und natürlichen Folgerungen der Theorie von der allmählichen Versalzung des Meerwassers durch Flüsse bisher gänzlich der Aufmerksamkeit der Forscher entgangen sind!²⁾ Die Richtigkeit der citierten Worte ist aus dem Nachstehenden leicht zu ersehen.

Das Verdienst, den Salzgehalt der Flüsse und Oceane als Maßstab der geologischen Vergangenheit zum erstenmal gewürdigt zu haben, gebührt dem „Praeceptor Sueviae“ Fr. Aug. Quenstedt.³⁾ Der Tübinger Gelehrte lehnt zwar keineswegs die Meinung ab, „das Meer sei ursprünglich süß gewesen und habe seinen Salzgehalt erst allmählig durch die Landströme in Folge von Verdunstung erhalten“, er macht aber dabei einen wichtigen, sich auf Salzablagerungen beziehenden Vorbehalt, auf den wir später zurückkommen wollen. Berücksichtigt man den Umstand, dass Quenstedt zu jener Zeit nur die von Bischof zusammengestellten Analysen zur Verfügung standen, und dass der erste wissenschaftliche Versuch, die mittlere Tiefe der Meeresräume zu finden, von Pfaff erst 1875, somit drei Jahre nach dem Erscheinen der citierten Sammlung von Quenstedts Vorträgen unternommen wurde, so ist es kein Wunder, dass das Ergebnis der Quenstedt'schen Rechnung viel zu gering ist. Nach Bischofs Analysen schlägt Quenstedt den Gehalt der Süßwasser an Chlornatrium zu 0·1% an, woraus bei dem heutigen Verhältnis der Meeresbedeckung zum Lande (3 : 1) und bei der Annahme einer jährlichen Regenhöhe von 3 Fuß sich in 25 Jahren 1 Fuß mit 2·5% Chlornatrium, somit Seewasser ergibt. Für eine Höhe von 4000 Fuss müssen nach Quenstedt 100.000 Jahre vorausgesetzt werden. Darnach würde ein Zeitraum von nur 300.000 Jahren etwa der mittleren Tiefe der Oceane entsprechen.

Ueber den Salzgehalt des Meeres gibt Dittmar an, dass derselbe durch die im Flusswasser zugeführte Menge in 1200 Jahren um 1% gesteigert würde.⁴⁾ Die durchschnittliche Zusammensetzung des Meerwassers wird zu 3·53% veranschlagt.⁵⁾ Da von diesem Gehalt 76·49% dem Chlornatrium zukommen, so enthalten 1000 Gewichtstheile Meerwasser 27 dieses Hauptbestandtheiles. Es müsste daher nach Dittmar das heutige Meerwasser im Laufe eines Zeitabschnittes von 1200 Jahren 0·0353% an gelösten Stoffen oder 0·027% an Chlornatrium bekommen. Sollte dasselbe Verhältnis auch auf die geologische Vergangenheit angewendet werden, so würde sich ein im Vergleiche mit den geologischen Zeiträumen verschwindend kleines Resultat von 120 Jahrtausenden des Bestandes der oceanischen Gewässer ergeben. Es wurde von Dittmar der Betrag der im Flusswasser gelösten Substanzen zu hoch, beziehungsweise das Alter der Meere zu niedrig geschätzt.

¹⁾ L. c. S. 46.

²⁾ L. c. S. 45.

³⁾ Klar und wahr. Tübingen 1872. S. 249 ff., Bemerkung (4).

⁴⁾ Joh. Walther, Einl. in die Geol. als hist. Wiss. Jena 1893—1894. S. 658.

⁵⁾ H. Rosenbusch, Elem. der Gesteinslehre. Stuttgart 1898. S. 383—384.

O. Kuntze¹⁾ hat für eine dem heutigen Gehalt entsprechende Versalzung der Océane durch Flüsse eine Zeitdauer von 15 Millionen Jahren angenommen.

Einen viel höheren Grad von Wahrscheinlichkeit beansprucht das Calcul Toulas²⁾. Er hat mit Neumayr angenommen, dass die Erneuerung der Océane durch Flusswasser in 15.000 Jahren stattfindet.³⁾ Aus der mittleren Menge der in Flusswasser gelösten Stoffe, welches Quantum sich auf $\frac{1}{6000}$ des Wassergewichtes beläuft, und aus dem specifischen Gewicht (2·6) dieser gelösten Substanzen stellt Toula folgende Formel auf: $15.000 \times 6000 \times 2·6 = 234$ Millionen Jahre. Ein solcher Zeitraum ist nach Toula erforderlich, damit allein die im Wasser der Ströme aufgelösten Verbindungen die Meeresbecken erfüllen, d. h. das Wasser daraus verdrängen. Dass ein solches in der unabsehbarsten Zukunft zu erwarten sei, muss ernst bezweifelt werden, wenn wir jene ungeheuren Massen von chemischen Ablagerungen, so z. B. von Kalk oder Steinsalz ins Auge fassen, die in verschiedenen geologischen Epochen dem Weltmeere entzogen wurden und an dem Aufbau der Festländer bedeutenden Antheil nehmen.

Wird die von Toula in seiner Rechnung angenommene 15.000jährige Periode der Erneuerung der Océane durch eine 51.700jährige ersetzt, die wir später zu begründen haben, so würde für denselben Vorgang eine Zeitdauer von 234 Millionen Jahren nicht ausreichen, sondern dazu eine solche von 806·52 Millionen Jahren erforderlich sein.

¹⁾ „Kosmos“, Bd. IV, S. 40.

²⁾ Die Entstehung der Kalksteine. Vortr. d. Ver. zur Verbr. naturw. Kenntn. XXI, 7. Wien 1891. S. 10 ff.

³⁾ Erdgeschichte I, S. 369. Würde die jährliche Regenmenge (durchschnittliche Höhe circa 1 m) von den Festländern im Ganzen abfließen, so wären nach Neumayr etwa 9500 Jahre erforderlich, um bei der heutigen Verteilung von Land und Wasser die im Durchschnitt eine halbe geographische Meile tiefen Océane zu erneuern. Mit Rücksicht auf die Verdunstung, die von Neumayr unterschätzt wird, wurde eine Periode von wenigstens 15.000 Jahren für nothwendig erachtet.

Dieselbe Ziffer findet man auch bei Toula (a. o. a. O.) 1891 und V. Uhlig (Erdgesch., 2. Aufl., Bd. I, S. 417 ff.) 1895, obgleich Murray schon 1887 die jährlich dem Meere zufließende Wassermenge zu ermitteln versuchte und sein Ergebnis jenen von Johnson, Reclus und Wejckoff entgegenstellte. Erst später hat Uhlig (Das unterirdische Wasser und seine Bewegung. Sammlung gemeinnütz. Vortr. Nr. 209. Prag 1896. S. 2) anerkannt, dass von 122.500 km^3 jährlichen Niederschlages etwa 95.300 verdunsten. Aus denselben Angaben (ein jährlicher Abfluss von 27.200 km^3 Wasser) ermittelte Lapparent (Traité de geol., 3^{me} éd., Paris 1893, S. 154), dass das Verhältnis der herabfallenden zu der abfließenden Wassermenge 1:4·499 gleich ist. „Les 27.200 km^3 . . . sont l'objet d'un échange perpétuel qui s'accomplit entre la terre ferme et l'océan, dont ils représentent, en volume, environ un cinquante millième.“ An einer anderen Stelle (ebenda, S. 227) wird nach Murray das jährlich abfließende Quantum von Wasser mit 23.000 km^3 geschätzt.

Krümmel (A. Rehmann, Karpaty. Lemberg 1895. S. 645—646) hat aus dem Volumen des Weltmeeres (3.400.000 Kubikmeilen) und jenem des jährlichen Niederschlages (3000 Cubikmeilen) eine 1133jährige Periode für das einmalige Verdunsten der oceanischen Wassermasse angenommen. Dieser Berechnung liegt die falsche Annahme zugrunde, dass die ganze in der Atmosphäre enthaltene Menge von Wasserdampf nur von den Océanen geliefert wird. E. Brückner

Besonders verdient um die Erforschung der chemischen Denudation ist Mellard Reade, dessen Arbeiten eine Fülle von wertvollen Angaben über die „Soluble Denudation“ enthalten.¹⁾

Der Ausgangspunkt für die Berechnungen Reades waren die Analysen, denen das Wasser der Flüsse Englands von der „Rivers Pollution Commission“ unterzogen wurde. Um den nicht unerheblichen Einfluss zu beseitigen, der auf den Gehalt des Flusswassers an gelösten Stoffen (z. B. Themse) durch das Passieren von dichtbevölkerten oder bebauten Gegenden ausgeübt wird, stützte sich Reade auf die chemische Beschaffenheit der Gewässer im Hochlande (upland surface water) und betrachtete somit die natürlichen Bedingungen der chemischen Abtragung. Die Verhältnisse der letzteren in England und Wales wurden von Reade durch nachstehende Ziffern veranschaulicht:

Durchschnittsgehalt der Gewässer pro 100.000 Theile an		Es wird dadurch die Oberfläche des Landes um 1 Fuss in
Kalkcarbonat	} 9.5	16.707 Jahren erniedrigt
Kalksulphat		
Magnesiicarbonat		
Magnesiumsulfat		
Chlornatrium	1.66	89.640 „ „
Nitrate	0.08	— „ „
Natronsulphat	} 0.99	200.405 „ „
Natroncarbonat		
Kieselsäure		
Eisenoxyd		
Summe der gelösten Stoffe	12.23	12.978 „ „

Aus der speciellen Betrachtung der chemischen Abtragung in England folgerte Reade weitere Schlüsse über die chemische Denudation der ganzen Erdoberfläche und wurden dieselben durch die Prüfung diesbezüglicher Verhältnisse auf dem nord- und südamerikanischen Festlande bestätigt.²⁾ Wir entnehmen den Schätzungen Reades folgende Zahlen:

hat bewiesen, dass auch Landflächen großen Antheil an der Verdunstung nehmen: „Ein Wassertheilchen, das durch die Atmosphäre vom Ocean zum Land kam, fällt hier durchschnittlich dreimal als Niederschlag nieder, ehe es in den Schoß des Oceans zurückkehrt“. (Ueber die Herkunft des Regens. Auszüge v. Vortr. VII. Int. Geogr.-Congr. Berlin, 28. Sept. 1899, S. 1 und 2.) Die Experimente von Fr. Pfaff haben gezeigt, wie schneller die Verdunstung aus reinem Wasser als aus Lösungen vor sich geht. (Allg. Geol. als exacte Wiss. Leipzig 1873. S. 104 ff.; Zeitschr. d. Deutsch. geol. Ges. 1872, S. 401.)

¹⁾ Chemical Denudation in relation to geol. time. (Geol. time; on the geol. significance of the Challenger discoveries; limestone as an index of geol. time.) London 1879.

Den. of the two Americas. Liverpool 1885.

Auch angeführt in:

Penck, Morph. d. Erdoberfl. I. Th., S. 384.

Walther, Einl. etc., S. 658.

Al. Agassiz, Three Cruises of the U. S. Coast and Geodetic Surv. S. „Blake“ 1848, I, S. 129

²⁾ Geol. time, S. 24; Den. of the two Americas, S. 20.

Es werden jährlich vom Niederschlag aufgelöst in Tons pro engl. Quadratmeile		Ein Vergleich mit dem Gehalt des Meerwassers ergibt für die Concentration einen Zeitraum von
Kalkcarbonat	50	480.000 Jahren
Magnesiicarbonat	4	
Kalksulfat	20	25,000.000 „
Magnesiassulfat	4	
Kieselsäure	7	—
Chlornatrium	8	200,000.000 „
Natron-sulfat	} 6	—
Natroncarbonat		
Kalisulphat		
Kalicarbonat	} 1	—
Eisenoxyd		
Zusammen	100	—

Die Abtragung dieser Mineralstoffe bewirkt eine jährliche Erniedrigung der Landoberfläche um 0.014 *mm*.

Die Menge des jährlich vom Lande chemisch und mechanisch Abgetragenen wird von Reade auf 600 Tons pro engl. Quadratmeile veranschlagt. Schätzt man die Producte der marinen Denudation und der vulcanischen Ausbrüche zu 200 Tons, so würde die Bedeckung der ganzen Erdoberfläche mit einer 10 Meilen mächtigen Sedimentkruste ungefähr 526 $\frac{1}{2}$ Millionen Jahre erfordern, während der Verlust des Landes durch denselben Vorgang in 2581 Jahren 1 Fuß erreichen würde.

Durch die Wirkung der gesammten Abtragung wird das dem atlantischen Ocean tributäre Gebiet in drei Jahrtausenden um 1 Fuß erniedrigt. Die Ströme Amazonas und Congo würden wahrscheinlich in 20 Millionen Jahren den zwischen den Breitengraden 10° N. und 10° S. gelegenen Theil des atlantischen Beckens bis zum Meeresniveau mit den zugeführten Stoffen ausfüllen. Was die Kalkabscheidung im atlantischen Gebiete anbelangt, so wird von Reade angenommen, dass die Flüsse, welche 21 Millionen engl. Quadratmeilen nach dem Atlantik entwässern, ein gleiches Areal im Ocean mit einer 1 Fuß dicken Schicht von Kalkcarbonat in ungefähr 38 Jahrtausenden bedecken könnten. Der Betrag der Ablagerung des Globigerinenschlicks in den oceanischen Tiefen wurde von Reade auf höchstens 1 Fuß pro 20 Jahrtausende veranschlagt, vorausgesetzt, dass die Foraminiferen die ganze durch die Flüsse dem Meere jährlich gelieferte Kalkmenge verbrauchen.

Schließlich hat Reade auch den Versuch gemacht, jene Zeitdauer zu bestimmen, welche für die Bildung der in der sedimentären Reihe angehäuften Kalkmassen nöthig wäre. Die Betheiligung der Kalksteine an dem Aufbau der Erdkruste wird auf 528 Fuß geschätzt und für deren Bildung ein Zeitraum von circa 600 (und zwar drei Perioden: Laurentian-Silur, Devon-Trias und Jura-Jetztzeit zu je 200) Millionen Jahren angenommen, wenn man die ganze Kalkmenge von der ersten Erstarrungskruste ableitet.

Zu solchen Ergebnissen haben die Berechnungen Reades geführt und wurden dieselben im Vorgehenden ausführlich behandelt, da die grundlegende

Bedeutung der Arbeiten dieses Forschers für die Probleme der chemischen Denudation es zu empfehlen schien, auf die wichtigen Resultate näher einzugehen.

Im Anschlusse an Reade hat Walcott die paläozoischen Ablagerungen, welche sich in den Vereinigten Staaten Nordamerikas östlich von den Cordilleren bis zum 111. Meridian und vom 55. Parallel über 20 Breitengrade nach Süden erstrecken und ein ungefähr 400.000 engl. Quadratmeilen großes Gebiet, „Cordilleran“ oder „Palaeo-Rockymountain Sea“ genannt, einnehmen, zum Gegenstand eines Studiums über die Zeitdauer der chemischen Abtragung gemacht.¹⁾ In der Aufeinanderfolge von paläozoischen Bildungen nehmen die Kalkablagerungen eine mittlere Mächtigkeit von 6000 Fuß oder 2.007,244.800 Millionen Tons ein und wurden sie entnommen dem damaligen Meere, welches das Kalkcarbonat nach dem mittleren Cambrium von einem Festlandsgebiete von etwa 600.000 engl. Quadratmeilen bezogen hatte. Es verliert eine engl. Quadratmeile in einem Jahre 70 Tons Kalksalze zugunsten des Meeres, und daraus ergeben sich 42 Millionen Tons von Kalk, die jährlich ins Cordillerenmeer geführt wurden. Vorausgesetzt, dass das Cordillerenmeer der Strömungen entbehrte, dass es in allen Theilen keine physikalischen Abweichungen aufzuweisen hatte, und dass die Aufnahmefähigkeit der paläozoischen Gewässer sich von der in der Jetztzeit geltenden nicht wesentlich abhob, so wären 47.790 Tausende von Jahren nothwendig, damit im Becken des Cordillerenmeeres eine 6000 Fuß mächtige Kalkablagerung abgeschieden würde. Die paläontologischen Funde haben in jenem paläozoischen Meere die Existenz von Korallen und zahllosen kalkabscheidenden Thieren nachgewiesen, wodurch die Annahme einer höheren Temperatur und folglich auch mehr intensiver Verdunstung begründet wird. Mit Rücksicht auf solche physikalische Zustände soll nach Walcott der oben angegebene Zeitraum um ein beträchtliches beschränkt werden.

Der jährliche Betrag der paläozoischen Kalkabscheidung wird von Walcott auf 50·7 Tons pro engl. Quadratmeile veranschlagt, wonach für die Bildung der paläozoischen Kalkablagerungen im genannten Meere 16.300 Jahrtausende abgeleitet werden.

Die Kalkmassen des appalachischen Gebietes sollen nach A. L. Ewing in 1 Million Jahren einen Verlust von 300 *m* erleiden.²⁾

Die Mächtigkeit des unlöslichen Rückstandes, welcher nach der Auflösung und Fortführung des Kalkcarbonats durch atmosphärisches Wasser sich an der Oberfläche der Kalkfelsen ansammelt, ermöglicht, die Masse des fortgeführten Kalkes zu berechnen, wenn wir den Gehalt des gegebenen Kalksteins an nicht löslichen Bestandtheilen kennen. Auf diese Weise könnte aus dem jährlichen Betrage der chemischen Abtragung, aus der chemischen Beschaffenheit des gegebenen Kalksteins und aus der Mächtigkeit der die Kalkfelsen überlagernden lehmigen Decke die Zeitdauer ermittelt werden, welche für die Bildung der letztgenannten vorauszusetzen ist.

Würde von 600 *mm* jährlichen Niederschlages nur $\frac{1}{5}$ einsickern, so könnte eine solche Wassermenge dem Boden jährlich 235 *kg* pro 1 *ha*, in

¹⁾ N. Jahrb. f. Min. etc., 1893, I, Ref. S. 274 ff.

²⁾ L apparent, Le globe terrestre III, S. 40.

günstigem Falle sogar bis aufs Doppelte an Kalkcarbonat entnehmen. Diese Berechnung ist von praktischer Bedeutung für landwirtschaftliche Zwecke, denn es kann darnach bestimmt werden, in wieviel Jahren aus der Ackererde von einem gegebenen Gehalt an Kalk dieser Bestandtheil gänzlich fortgeführt würde. So z. B. ist der Niederschlag fähig, aus einem 20 cm dicken Ackerboden in 17 Jahren einen Kalkgehalt von 0·1% vollständig fortzuführen. Die mergeligen Diluviallehme enthalten 10% an Kalk und würden den ganzen Kalkgehalt einer 20 cm mächtigen Schicht in 1700 Jahren gänzlich verlieren.¹⁾

Die Menge der in einem Jahre chemisch und mechanisch im Wasser der Flüsse verfrachteten Mineralstoffe hat eine entsprechende Erniedrigung des Einzugsgebietes zur Folge. Nachstehend sind derartige Angaben über einige Flüsse angeführt.²⁾

1. Elbe oberhalb Tetschen	0·012	mm
2. Nil	0·013	„
3. Mississippi ³⁾	0·017	„
4. Themse ⁴⁾	0·0231	„
5. Seine oberhalb Paris	0·024	„
6. Donau ⁵⁾	0·03	„
7. Maas oberhalb Lüttich	0·05	„
8. Donau „ Pest.	0·053	„
9. Donau	0·061	„
10. Donau oberhalb Wien	0·0625—0·067	„
11. Mississippi	0·068	„
12. Arve oberhalb Genf	0·21	„
13. Rhône „ des Genfer Sees	0·44	„

Es fehlt nicht an Bemühungen, den Zeitraum zu bestimmen, den die Bildung von Steinsalzlagerstätten beanspruchen dürfte. E. Pfeiffer hat berechnet, dass der Stassfurter Salzstock sich in 8000 Jahren gebildet habe.⁵⁾ Im Stassfurter Salzlager kommen nämlich Anhydritschichtchen in einem Abstände von je einigen Centimetern vor. Diese Erscheinung wurde mit dem Namen „Jahresringe“ belegt und durch periodische Ueberflutungen gedeutet. Würden die „Jahresringe“ wirklich der Dauer eines Jahres entsprechen, so dürfte die Bildungsdauer der 240 m mächtigen Stassfurter Steinsalzregion ungefähr zwei Tausende von Jahren betragen. Eine ganz ähnliche Erscheinung ist in den Salzgruben zu Vizakna (Siebenbürgen) wahrzunehmen.

¹⁾ Vgl. die landwirtschaftlichen Aufsätze von Fr. Czarnomski. (Pisma rolnicze. Krakau 1900.) Bd. I, S. 59 ff.

²⁾ Neumayr-Uhlig, Erdgesch., 2. Aufl., 1. Bd., S. 587; Reade, Geol. time, S. 15 und Den. of the two Americas, S. 11 und 21; Penck, Die Donau. Vortr. d. Ver. zur Verbr. naturw. Kenntn. XXXI, 1. Wien 1891. S. 20 ff., 34 und 41 ff.

³⁾ Nur in gelösten Mineralstoffen.

⁴⁾ Nach Prestwich. Nur an Kalkcarbonat aus jurassischen und cretacischen Schichten (Marlstone, Oolitic strata, Upper Greensand, Chalk).

⁵⁾ Ref. N. Jahrb. f. Min., Geol. u. Pal. 1887, I, S. 48.

Bei der ungemein rasch vor sich gehenden Verdunstung würde das Becken des Rothen Meeres schon in $1\frac{1}{2}$ —2 Jahrtausenden durch ausgeschiedenes Salz eingeebnet sein, wenn nicht durch die Strömung in der Straße Bab-el-Mandeb ein Austausch des Wassers ermöglicht wäre.¹⁾

III.

In verhältnismäßig kurzer Zeit könnte der heutige Kalkgehalt des Meeres durch Flüsse erzeugt werden. Die Thätigkeit der kalkabscheidenden Organismen geht dahin, ununterbrochen dem Meerwasser Kalkcarbonat zu entnehmen. Es ist daher begreiflich, wenn E. Hull aus der Ausscheidung von Kalk- und Magnesiicarbonat und Kieselerde aus dem Meerwasser durch Organismen den Schluss gezogen hat, dass die im Wasser aufgelöste Menge dieser Stoffe im Laufe der geologischen Epochen annähernd dieselbe blieb, und dass in dieser Beziehung zwischen den heutigen und paläozoischen Océanen kein wesentlicher Unterschied bestehe.²⁾ Ebenso haben die Berechnungen Reades über das Alter der Océane aus dem Gehalt des Meerwassers an Kalksulfat ein keineswegs der Größe des geologischen Zeitbegriffes entsprechendes Resultat gegeben. Dieser Bestandtheil wird bei der Verwesung von abgestorbenen Organismen zersetzt, wobei sich beträchtliche Mengen von freier Kohlensäure entbinden, welche die Auflösung von kalkigen Schalen untergegangener Thiere bedingen. Wir dürfen daher vorläufig Dr. v. Romer Recht zugestehen, dass von allen Bestandtheilen des Meerwassers das Chlornatrium allem Anscheine nach am besten geeignet wäre, eine Grundlage für die Beurtheilung der Zeitdauer der chemischen Abtragung zu bieten.³⁾

Dr. v. Romer hat in seiner Rechnung die älteren (1879) Angaben Krümmels in Anwendung gebracht. Es wurden aber später neue Bestimmungen des Areal's des Weltmeeres und seiner mittleren Tiefe [vorgenommen, und ist ein Modificieren der Rechnung Dr. v. Romers an der Hand dieser Angaben möglich. Wir entlehnen den neueren Arbeiten von Krümmel folgende Zahlen:

Mittlere Tiefe des Weltmeeres ⁴⁾	3.400 m
Oberfläche der Océane ⁵⁾	374,057.912 km ²

woraus sich für das Volumen der oceanischen Gewässer ein Wert von 1.271,796.900 km³ ergibt.⁶⁾ Setzt man mit Murray die Masse des jährlich von den Festländern nach den Océanen abfließenden Wassers gleich 24.600 km³,

¹⁾ Toula, Das Salzgebirge und das Meer. Vortr. d. Ver. zur Verbr. naturw. Kenntn. XXXI, 17. Wien 1891. S. 38.

²⁾ How the Waters of the Ocean became Salt. Journ. of Trans. Vict. Inst. XXVII, 106. London 1893—1894. S. 12.

³⁾ Volger, Ochsenius und Liebermann haben die Meinung ausgesprochen, dass Thiere die Fähigkeit besitzen, Chlornatrium in Berührung mit Kohlensäure zu zersetzen. (Toula, Entst. d. Kalkst., S. 41—43.)

⁴⁾ Penck, Morph. I, S. 151, Anm. 6.

⁵⁾ Boguslawski, Handbuch der Oceanographie. Stuttgart 1884. Bd. I, S. 19.

⁶⁾ Karstens hat 367,900.000 km³ und 1.268,000.000 km³ angegeben. (Mitth. d. k. k. geogr. Ges. in Wien XXXIX, 1896, S. 364.)

so muss eine Erneuerung des Wassers im Weltmeere durch jenes der Flüsse in 51.700 Jahren erfolgen.

Nach Gümbel ist der Durchschnittsgehalt des Flusswassers an Gelöstem auf 0.0184 zu schätzen.¹⁾ Der Antheil der Chloride an der Zusammensetzung der gelösten Mineralsubstanzen beträgt im Mittel 5.2%²⁾ wovon $\frac{1}{6}$ die übrigen Chloride (Chlornatrium ausgenommen) ausmachen dürften, so dass für das im Flusswasser gelöste Chlornatrium nur 4.33% der gesammten Bestandtheile entfallen sollte. Es enthält darnach 1 *dm*³ Flusswasser durchschnittlich 0.0079672 *g* Chlornatrium. Da aber in demselben Quantum Meerwasser im Mittel 27.18 *g* desselben Bestandtheiles aufgelöst sind,³⁾ so ergibt ein Vergleich der beiden Zahlen das Verhältniß 1 : 3411.5. Könnte der Salzgehalt der Oeane einer allmählichen Versalzung durch in dieselben einmündende Gewässer zugeschrieben werden, dann müssten wir eine 3411.5malige Erneuerung des Meerwassers, d. h. 176,374.550 Jahre voraussetzen.

Verschwindend klein wird uns dieser Zeitraum erscheinen, wenn wir die Angaben Murrays über die gelösten Bestandtheile des Wassers der Flüsse benutzen.⁴⁾ Setzt man mit Murray voraus, dass 1 *km*³ Flusswasser im Durchschnitt mit 182 Tonnen gelöster Substanzen beladen ist, wovon das Chlornatrium 3.93 Tonnen ausmacht, da werden einer solchen Annahme kaum 350.000 Millionen Jahre genughun.

Der oben erzielte Wert von ungefähr 175 Millionen Jahren kann durch eine andere Berechnung auf die Probe gestellt werden. Allgemein wird behauptet, dass die Flüsse in 6000 Jahren soviel an gelösten Stoffen ins Meer bringen, wieviel das Gewicht ihrer jährlichen Wassermenge beträgt. Stützen wir uns auf die im Vorhergehenden ermittelten Zahlen, so können wir auf Grund der eben citierten Schätzung zu einem Resultat von 193.890 Jahrtausenden gelangen. Wir kommen über diese Grenzen noch weiter hinaus, wenn wir mit Gümbel die Masse der jährlich den Oeanen durch die Flüsse gelieferten gelösten Mineralstoffe auf $\frac{1}{10000}$ des Wassergewichtes veranschlagen.⁵⁾ In diesem Falle bekommen wir 258.520 Tausende von Jahren.

Wesentlich verschieden von einander sind die Werte, die ich als Ergebnis meiner Berechnungen angeführt habe. Von Murrays Angaben abgesehen, sind dennoch die extremen Zahlen durch eine Kluft von mehr als 80 Millionen Jahren getrennt. In allen Fällen, die ich eben besprochen habe, wurden dieselben Zahlen für die mittlere Tiefe und das Areal der Oeane, für die jährlich von den Continenten abfließende Wassermasse, ferner auch für den Salzgehalt des Weltmeeres beibehalten. Die Ursache dieser Schwankungen innerhalb so weit voneinanderstehender Grenzen ist in den Angaben über den mittleren Gehalt der Flüsse an Gelöstem zu suchen. Es wird dadurch klargelegt, wie unzureichend unsere bisherigen diesbezüglichen Erfahrungen sind, und auf welch schwankendem und unsicherem Boden ein

¹⁾ Grundzüge der Geologie. Kassel 1888. S. 316.

²⁾ J. Roth, Allg. u. chem. Geol., Bd. I. Berlin 1879. S. 462.

³⁾ Hann, Hochstetter und Pokorny, Allg. Erdkunde 1886, S. 183.

⁴⁾ Lapparent, Géol., 3^{me} éd., S. 319; Le globe etc., III, S. 41.

⁵⁾ L. c. S. 24.

jeder steht, der sich mit Prüfung der chemisch-denudierenden Vorgänge befasst. Wir müssen mit vollem Beifalle Archibald Geikies Urtheil begrüßen, wenn er mit Nachdruck die Mangelhaftigkeit unserer Erfahrungen über den Effect der chemischen Abtragung betont und ein gemeinsames Zusammenwirken der Forscher auf dem anziehenden Gebiete der Denudation in Anregung bringt.¹⁾

Andererseits sind verschiedene Forscher in ihren Angaben über die mittlere Tiefe des Weltmeeres und über die jährlich den Oceanen zugeführte Wassermenge nicht einig. Da meinem Calcul nur die Zahlen Krümmels und Murrays zugrunde liegen, so ist es zweckmäßig, auf irgendeine Weise auch die anderen diesbezüglichen Bestimmungen berücksichtigen zu können. Es mögen zu dem Zwecke zwei Coëfficienten (α und β) eingeführt werden, die in nachstehenden Tabellen zusammengestellt sind:

Tab. I.

Mittlere Tiefe des Weltmeeres:

		Mittlere Meerestiefe in <i>km</i>	$\alpha =$
1. Krümmel	1886	3·32	$\frac{83}{85}$
2. „ . . . (berichtigter Wert)		3·4	1
3. „	1879 ²⁾	3·44	$\frac{86}{85}$
4. Heiderich	1891		
5. Karstens	1894	3·5	$\frac{35}{34}$
6. Pfaff ³⁾	1875	3·57	$\frac{21}{20}$
7. Supan }	1889	3·65	$\frac{73}{68}$
8. Penck }			
9. „ }			
10. Murray	1888	3·8	$\frac{19}{17}$
11. Tilló	1889		
12. Lapparent . . .	1883	4·26	$\frac{213}{170}$

Tab. II.

Jährlich von der Oberfläche der Festländer abfließende Wassermenge:

	<i>km</i> ³	$\beta =$
1. Wojejkoff	16800	$\frac{41}{28}$
2. Murray	24600	1
3. Reclus	28000	$\frac{123}{140}$
4. Johnson	56000	$\frac{123}{280}$

¹⁾ L. c. S. 488.

²⁾ Genau 3·4384.

³⁾ 11.000 P. Fuß = 3573·24 m. Fr. Pfaff, Grundriss d. Geol. Leipzig 1876. S. 31.

Wollte nun jemand eine andere Bestimmung, z. B. jene Lapparents (mittlere Meerestiefe 4·26 km) anwenden, so braucht man nur meine Resultate mit $\alpha = \frac{4\cdot26}{3\cdot4} = \frac{213}{170}$ zu multiplicieren. Sollte aber auch der von Murray erzielte Wert durch einen anderen, z. B. den von Wojejkoff (jährlicher Abfluss 16800 km³) ersetzt werden, so sind meine Zahlen in diesem Falle mit $\beta = \frac{24600}{16800} = \frac{41}{28}$ zu multiplicieren.

IV.

Es ist eine längst bekannte und durch Bischofs Analysen von Flusswasser bewiesene Thatsache, dass der Procentgehalt der Flüsse an gelösten Stoffen während des hohen Wasserstandes sinkt. Es liegt auf der Hand, dass die im Wasser der Flüsse aufgelösten Substanzen nicht etwa von den oberflächlichen Gewässern, die entweder direct als atmosphärische Niederschläge oder als ein Product der Schneeschmelze das Hochwasser bedingen, herzuleiten sind. Der Ursprung des im Flusswasser enthaltenen Salzes ist in den Gesteinen zu suchen, die in den Boden einsickerndes Wasser in seinem unterirdischen Laufe durchströmt und deren lösliche Bestandtheile es auslaugt, bis es an der Erdoberfläche als Quelle heraustritt.

Von dem Salzreichtum, der in verschiedenén geologischen Formationsstufen aufgespeichert ist, geben uns die mächtigen Salzflöze Zeugnis, deren Vorhandensein theils unmittelbar durch Abbau, theils durch Tiefbohrung oder Auftreten von Soolen verrathen wird. Die Tiefbohrung zu Sperenberg, die in den Schichten der Dyas ausgeführt wurde, hat ein 1200 m mächtiges Salzlager nachgewiesen, ohne zu dessen Liegendem zu gelangen. Dem galizischen Nordrande der Karpaten ist ein Gürtel von miozänen Ablagerungen vorgelagert, das Karpatenvorland, deren Thone von verschiedenen Salzen, hauptsächlich aber von Chlornatrium durchtränkt sind. Der Reichthum Galiziens an Salzgruben und Soolen genießt seit dem 13. Jahrhundert einen Weltruf. Zahllose andere Salzvorkommnisse von verschiedenem geologischen Alter in allen Erdtheilen stellen kaum einen winzigen Bruchtheil jener gewaltigen Salzmassen vor, die in der geologischen Vergangenheit dem Weltmeere entnommen wurden.

Wir können die jährliche Production der Culturstaaten an Kochsalz zu 6 Millionen Tonnen veranschlagen¹⁾ und dies wird in einem Jahrhundert

$\frac{1}{57612399}$ der im Weltmeere enthaltenen Masse von Chlornatrium erzeugen.

Gewiss muß die Weltproduction eine bedeutend größere Zahl erreichen; wir dürfen aber nicht vergessen, dass ein Theil des Weltconsums durch Seesalz gedeckt wird, und dass es uns hier nur daran liegt, einen Begriff von jenen Massen von Chlornatrium zu gewinnen, die in den Grenzen der heutigen Festländer auf Kosten des Weltmeeres im Laufe der geologischen Epochen angehäuft wurden. Jene Mengen dagegen, welche das Wasser der Flüsse den Continenten entnimmt, sind aus meinen Berechnungen über das Alter des Salzgehaltes der Oceane zu ersehen.

1) Toula, Salzgeb. etc., S. 5.

Vielfach wurde die Meinung ausgesprochen, dass die Salzablagerungen nicht aus dem Meerwasser ausgeschieden wurden, vielmehr aber in abflusslosen Seen entstanden sind. Johannes Walther betrachtet die Salzlager als continentale Bildungen der Wüstengebiete,¹⁾ und auf eine analoge Weise hat A. Rehmann²⁾ die Entstehung der miocänen Salzlager am Nordrande der Karpaten erklärt. Die Salzseen aber bekommen ihren Salzgehalt durch die Flüsse, die wieder Salz aus den sedimentären, daher vorzugsweise marinen Ablagerungen auslaugen — und so sehen wir, dass auch im Falle der Entstehung von Salzlagern aus ehemaligen abflusslosen Wüstenseen der eigentliche Ursprung des Salzes dennoch im Weltmeere gesucht werden soll. Wir sind somit berechtigt, alles Salz, das in der Tiefe der Festländer aufgespeichert ist, mittelbar oder unmittelbar von dem Salzgehalt der Oceane abzuleiten.

Von einer Hülle von impermeablen Thonen umgeben und dadurch der auflösenden Kraft des unterirdischen Wassers entzogen, kommen die Salzstöcke bei der Speisung der Flüsse an gelösten Stoffen nur wenig in Betracht. Ueber den Umstand hat sich Quenstedt in zutreffender Weise geäußert: „Das Salz ist stets in Gyps und Salzhon gehüllt, beide sind vollständig wasserdicht. Ohne diese zweckmäßige Einrichtung der Natur wäre längst alles Salz bei seiner Löslichkeit wieder fortgeführt. Denn während der Bergbau gewöhnlich mit Wassernöthen so viel zu kämpfen hat, sitzt man im Salzstock so trocken als in der Stube.“³⁾ Als im Jahre 1868 in der Wieliczkaer Grube ein neuer Schacht abgeteuft wurde, wodurch man auf die Auffindung von Kalisalzlagern abzielte, stieß man auf ungeheure Massen von vollkommen süßem Wasser.⁴⁾ Nur ausnahmsweise fallen die Salzflötze dem auflösenden Vermögen des unterirdisch circulirenden Wassers anheim. Dies ist in Thüringen der Fall, wo die Salzlager der Reinzberge bei Plaue, infolge von miozänen Brüchen den Bergwässern zugänglich, von denselben ausgelaugt wurden und dadurch zu großartigen Kesseleinsenkungen Anlass gaben.

Von großen Salzlagern abgesehen, finden wir in allen im Meere abgelagerten Sedimenten fein vertheiltes Salz. Dieser Salzgehalt der Gesteine marinen Ursprungs ist es, aus dem die Flüsse die in ihrem Wasser gelöste Menge von Chlornatrium schöpfen und zum Weltmeere verfrachten. Es kann kein Zweifel darüber bestehen, dass das in den marinen Ablagerungen enthaltene Salz während ihrer Bildung dem Wasser der Oceane entnommen wurde und dessen ungeheuren Verlust an darin aufgelösten Salzen bedeutet. Nahe liegt die Annahme, dass jenes Salz, mit dem marin entstandene Gesteine imprägniert sind, der Thätigkeit von Seethieren zugeschrieben werden sollte, deren Weichtheile ein gewisses, oft zum Gehalt des umgebenden Wassers in Beziehung stehendes Quantum von Salz aufweisen.⁵⁾ Es scheint

¹⁾ Einl. etc., S. 785.

²⁾ L. c. S. 651 ff.; Ref. Mitth. K. K. Geogr. Ges. in Wien 1896, S. 298.

³⁾ Klar und wahr, S. 239; darüber vgl. auch: Tietze, Geogn. Verh. d. Geg. v. Krakau. Wien 1888. S. 251 ff.

⁴⁾ Rehmann, l. c. S. 648; J. Niedźwiedzki, Beitr. z. Kenntn. d. Salzform. v. Wieliczka u. Bochnia II. Lemberg 1884. S. 107—108.

⁵⁾ Wir entlehnen J. Walther (Einl. etc., S. 61) folgende diesbezügliche Angaben:

in hohem Grade wahrscheinlich zu sein, dass bei dem Verwesungsprocess, dem die im Meeresschlamm eingebetteten Reste von Thieren unterworfen sind, die letzteren ihr in Blut und Lymphe angehäuftes Seesalz den sie einschließenden Ablagerungen übergeben und dadurch den Gehalt an fein zerstreutem Salz, den die marinen Sedimente aufweisen, bedingen, nachdem sie die diagenetischen Vorgänge bestanden haben und zum Gestein verfestigt wurden. Was dagegen die massigen Gesteine betrifft, so kann deren Verwittern die Gewässer an Salz speisen.

Der Salzgehalt des Meerwassers ist noch weit davon, den Sättigungsgrad zu erreichen. Es lässt sich daher in jenem die Continente umsäumenden Gürtel, wo die überwiegende Mehrzahl der marinen Gesteine abgelagert wird, keineswegs eine unmittelbare Salzabscheidung denken. Wenn auch dies in Buchten, die vom Ocean durch Barren abgetrennt sind, der Fall sein kann, so sind dennoch solche für Salzabscheidung günstige Bedingungen nicht so häufig, dass sie den allgemeinen, obgleich geringen Salzgehalt der Meeresablagerungen erklären könnten. Wir sind also gezwungen, nach einem Vermittler im Process der Imprägnation von Sedimenten mit Salz zu suchen, wobei in erster Reihe die Seeorganismen in Betracht kommen.

„Salz und Steinöl sind die zwei treuen Begleiter in verschiedensten Gegenden der Erde“ hat schon Quenstedt betont und manch interessantes Beispiel hervorgehoben, so das mit Bitumen gelblich gefärbte Salz von Friedrichshall oder das gewaltige Herausbrechen von brennbaren Gasen aus den Salzbohrlöchern in Kia-ting-fu (China), wo das Gas in Bambusröhren geleitet zur Beleuchtung und zum Heizen verwendet wird.¹⁾

Einen weiteren Beleg für das Bestehen eines genetischen Zusammenhanges im Auftreten der beiden Mineralien finden wir darin, dass Erdölvorkommnisse stets begleitet werden von Wasser, das bald nur geringe Mengen von Salz enthält, bald wegen des hohen Gehaltes für eine Soole gelten kann. Ueberall bestätigt sich der Zusammenhang von Kohlenwasserstoff und Salz. Dieser merkwürdigen Erscheinung begegnen wir in Pennsylvanien, im Gebiete von Baku, auf Java,²⁾ häufig ist sie auch in den Karpaten.³⁾ Das Knistersalz von Wieliczka, das comprimierten Kohlenwasserstoff enthält, oder Salzkristalle aus miocänem Thon mit eingeschlossenen und in Streifen nach den Flächen des Würfels angeordneten Partikeln

1. Lymphe von *Carcinus maenas* (nach Fredericq):

0·9 % Salz im Seewasser,	1·65 % im Blut
1·3 % „ „ „	1·56 % „ „
1·9 % „ „ „	1·99 % „ „
3·4 % „ „ „	3·00 % „ „

2. Gallertscheibe von *Aurelia aurita* (nach Krukenberg):

1·27 % Salz im Seewasser,	1·59 % im Blut
1·93 % „ „ „	1·98 % „ „
2·09 % „ „ „	2·22 % „ „

¹⁾ L. c. S. 245 und 247.

²⁾ Verbeek et Fennema, Description géol. de Java et Madoura, tome II. Amsterdam 1896. S. 1044 und 1047.

³⁾ Tietze, Geogn. Verh. d. Geg. v. Krakau, S. 200; A. Alth in dem Ber. d. Physiogr. Comm. für 1870, S. 25 ff. (poln.).

von Bitumen bieten ein schönes Beispiel. Bezüglich Wieliczkas hat Zeuschner über das Vorkommen daselbst von Kohlenwasserstoffgas in nicht unbedeutenden Quantitäten berichtet.¹⁾ Das gemeinsame Auftreten von Salz und Kohlenwasserstoff als eine überall geltende Thatsache hat Salvador Calderon geschildert.²⁾

Ueber die Entstehungsweise von Erdöl wurden mancherlei Hypothesen aufgestellt. Die heutigen Erfahrungen über die Petroleumvorkommnisse zeigen, dass es nur organischen Ursprungs sein kann. Ein Theil der Forscher hat einen ausschließlich thierischen Ursprung befürwortet, doch scheinen viel wahrscheinlicher und zutreffender diejenigen Erklärungsversuche zu sein, die neben den Thieren auch Pflanzen in Betracht ziehen.³⁾ Ein thierischer Ursprung des Petroleums und der Salzgehalt der Seethiere wären geeignet, auf das Zusammenvorkommen von Salz und Erdöl ein helles Licht zu werfen. Andererseits aber wissen wir, dass auch Seepflanzen die Fähigkeit besitzen, Bestandtheile des Meerwassers anzureichern. Es wurde das Vorhandensein einiger in spärlichen Mengen enthaltener Stoffe im Meerwasser erst durch Analysieren von Seethieren oder von Asche der Meerespflanzen nachgewiesen.⁴⁾ Es erhellt daraus, dass dasselbe, was oben von dem Salzgehalt der Meeresthiere und der im Meere abgelagerten Sedimente gesagt wurde, auch in Beziehung auf die Seepflanzen gelten kann. Wenn man die hohe Wahrscheinlichkeit eines pflanzlichen Ursprungs von Petroleum berücksichtigt, so sind wir berechtigt, das Zusammenvorkommen von Salz und Erdöl den in den Meerespflanzen (neben den Seethieren) angereicherten Bestandtheilen des Meerwassers zuzuschreiben. In den galizischen Karpaten ist das Auftreten von Erdöl neben salzigem jodhaltigem Wasser bekannt, und dies erinnert uns daran, dass Jod durch Analysieren der Asche der Tange im Meerwasser gefunden wurde.

Es können manche Seeorganismen in der sedimentären Schichtfolge keinerlei fossile Ueberreste, die ihre ehemalige Existenz bezeugen würden, und nur Spuren ihres Bestehens in den Hieroglyphen und Fucoiden und Anzeichen ihrer Thätigkeit durch Imprägnation der Gesteine mit Salz zurückgelassen haben.

V.

Es ist hervorgehoben worden, welch gewaltige Mengen von Salz dem Weltmeere in der geologischen Vergangenheit entnommen wurden.⁵⁾ C. J. B. Karsten war der Meinung, das Volumen der Salzlager der

¹⁾ Neues Jahrb. 1844, S. 535.

²⁾ Sur la concomitance du sel gemme et de la matière organique dans les mêmes gisements. Ref. N. Jahrb. 1893, I, S. 269.

³⁾ Vgl. Zuber, Krit. Bem. über die modernen Petr. Entst. Hyp. Zeitschr. f. prakt. Geol. 1898, Heft 3.

⁴⁾ Vgl. Lungwitz, Der geol. Zusammenhang von Vegetation und Goldlagerstätten. Zeitschr. für prakt. Geol. 1900, Heft 3.

⁵⁾ Es ist keineswegs annehmbar, was O. Kuntze („Kosmos“, Bd. VI, S. 241) behauptet: „Zunächst findet die Versalzung der Oeane ununterbrochen statt, wogegen es keinen constanten Salzverlust der Oeane gibt.“ Gegen eine solche Auffassung sprechen genügend die chemisch entstandenen Gesteine, welche sich an dem Aufbaue der Erdrinde betheiligen, sowie die Kalk- und Kieselausscheidung durch Organismen.

Welt übertreffe das der im Meerwasser gelösten Salze, das von ihm kaum auf ein Viertel des richtigen Wertes veranschlagt wurde.¹⁾ Die Anhäufung von Salz in den marinen Ablagerungen bedeutet einen ungeheueren Verlust, den der Salzgehalt der Ozeane seit dem Anfange der sedimentären Reihe zu erleiden hatte. Mit Rücksichtnahme auf den Salzgehalt der Meere als einen Maßstab der geologischen Zeitrechnung sind wir berechtigt zu folgern, dass das Salz, das sich im Meerwasser aufgelöst befindet, nur einen Theil von jenen Salzmassen darstellt, die seit Beginn der, abtragenden Thätigkeit des Wassers dem Meere zugeführt worden sind. Es wäre aber ein Irrthum, unser Calcul derart zu corrigieren, dass man wenigstens approximativ die Masse des in den Sedimenten aufgespeicherten Salzes schätzte, um ihren Wert den Salzgehalt der heutigen Meere vergrößerte und auf diese Weise eine angeblich richtige Zahl für die dem Weltmeere seit seinem Ursprunge zugeführten Salzmassen erzielt zu haben meinte. Auch ein solcher Wert, obgleich ein bedeutend größerer, dürfte auf Richtigkeit und Genauigkeit keinen Anspruch haben.

Wir müssen uns jenen überaus wichtigen Umstand vergegenwärtigen, dass die Flüsse ihren Salzgehalt aus den sedimentären Gesteinen beziehen, dass sie somit jene Salzmassen in den Ocean mit sich bringen, die während der geologischen Epochen daraus abgeschieden worden sind. Mit dem Wasser sind auch die darin gelösten Stoffe einem Kreislaufe unterworfen: Das Salz wird in den oceanischen Becken durch einmündende Flüsse angehäuft, sodann als Absatz in Meeresablagerungen eingelagert und eingestreut, um wieder durch die auflösende Kraft des Wassers aus den Gesteinen ausgelagert und im Flusswasser zum Meere verfrachtet zu werden. Berechtigt ist daher die Behauptung, dass der Salzgehalt der Flüsse und Meere als ein Chronometer der geologischen Zeitrechnung nicht anzuwenden ist, da ein ununterbrochener Kreislauf der im Wasser der Flüsse und Ozeane gelösten Mineralstoffe angenommen werden muß.²⁾ Das gegenwärtig geltende Verhältnis des Salzgehaltes der Meere zu jenem der Flüsse, d. h. nur einen kleinen Theil [des in der geologischen Vergangenheit schon bestehenden Kreislaufes des Salzes als einen Maßstab der geologischen Zeiträume zu benutzen, muß dasselbe heißen, wie z. B. aus der einmaligen Erneuerung des gesammten Meerwassers das Alter der Ozeane auf 51700 Jahre veranschlagen zu wollen.

Mit Recht hat Reade darauf aufmerksam gemacht, dass die Zahlen, zu denen der Salzgehalt des Meeres und der Flüsse führt, nur ein Minimum

¹⁾ Toul, Das Salzgeb. etc., S. 38.

²⁾ „The constituents of the crust of the earth have been again and again dissolved, carried into the sea, separated therefrom by organisms, or by evaporation from portions that have from time to time been cut off from the general ocean, . . .

We cannot see the beginning, all that is plain to us is the sequence, the circulation.

The matter of the world is continually changing place — its solvent is the rain, its carrier the river, its receiver and distributor the ocean. How many times the matter of this solid land on which we stand has been in solution, suspension, or moving to and fro on the shore or the sea bottom, it is impossible to say.“ (Reade, Geol. Time, S. 27.)

darstellen.¹⁾ Und heute, nachdem ein Vierteljahrhundert verflossen ist, können wir den Worten des englischen Forschers Beifall zollen: „In the present state of science it defies calculation to reach a maximum beyond which we can say the age of the earth does not extend, . . .“²⁾

Es erübrigt noch die Frage, ob im Kreislaufe des Salzes die atmosphärischen Niederschläge eine unmittelbare Rolle spielen. Von der Oberfläche des Meeres werden Wasserbläschen mit dem darin enthaltenen Salz vom Winde aufgewirbelt, wodurch der Salzgehalt des Regenwassers bedingt wird. Andererseits kommt es in Wüsten und Salzsteppen zur Bildung von Staubwolken, die mit Salz beladen sind. Tissandier hat im atmosphärischen Staub, der im Schnee gefunden wurde, Chlorverbindungen nachgewiesen. An den Meeresküsten beträgt der Salzgehalt der Atmosphäre bis 3·5‰. Im Regenwasser in England wurden 0·36 Theile Chlornatrium pro 100.000 gefunden. Landeinwärts sinkt der Salzgehalt der Atmosphäre rasch ab. Auf dem Observatorium in Paris fand Barral, dass 1 Liter Regenwasser mit 0·033 Gramm fester Stoffe (darunter auch Chlornatrium) beladen ist. Die zu Fécamp im Jahre 1850 von Marchand unternommenen Versuche haben im Regen 0·00114‰, im Schnee 0·0017‰ Chlornatrium nachgewiesen. Der in Nancy 1863 niedergefallene Regen enthielt 14 g Chlornatrium pro 1 m³. Für Böhmen hat Pošepny 1 g Chloride pro 1 m³ Regenwasser angenommen. Der Salzgehalt des Regens in den Alpen ist geringer als 0·0002‰. Im Schnee, der mit Staub beladen den 3. Februar (22. Jänner) 1893 in Odessa niederfiel, waren nach M. Sidorjenko Spuren von Chlornatrium vorhanden.³⁾

Die Herkunft der in regenarmen Gebieten sich anhäufenden Salze hat F. Pošepny dadurch zu erklären versucht, dass Salz mengen von der Oberfläche der Ozeane durch die Atmosphäre über die Festländer verfrachtet, in peripherischen Regionen durch abfließendes Wasser fortgeführt werden, in abflusslosen dagegen sich allmählich ansammeln und die Bildung von Salzsteppen und Salzseen bedingen.

Dr. v. Romer sieht einen Beweis für die Wahrscheinlichkeit seiner Berechnung in der Uebereinstimmung derselben mit einer anderen, die von Penck mit Rücksichtnahme auf die durchschnittliche Mächtigkeit der sedimentären Schichtfolge und den Betrag der mechanischen Denudation unternommen wurde.⁴⁾ Es kann nicht geleugnet werden, dass das Ergebnis Dr. v. Romers (circa 160 Millionen Jahre) innerhalb der von Penck für das Alter der Erde gezogenen Grenzen (135—187 Millionen Jahre) liegt, doch beruht diese augenscheinliche Uebereinstimmung auf einem und demselben Irrthum. In beiden Fällen sind dieselben Einwände geltend, die oben

¹⁾ Geol. Time, S. 25.

²⁾ Ebenda, S. 27.

³⁾ Walther, Einl. etc., S. 57; Reade, Geol. Time, S. 12, 14 und 27; Tietze, Zur Theorie der Entstehung der Salzsteppen und der angeblichen Entstehung der Salzlager aus Salzsteppen. Jahrb. geol. Reichsamt. 1877, S. 358, 366 ff.; F. Pošepny, in den Verh. Geol. Reichsamt. 1877, S. 222 ff.; Sidorjenko in Zap. Nowoross. Obschtsch. Jestestwoisp. XVIII, 1, S. 35.

⁴⁾ L. c. S. 44 ff.; Penck, Das Alter der Erde. Wochenblatt „Aula“ 1895, Nr. 14 ff.

gegen den Wert des Salzgehaltes der Gewässer für die Altersbestimmung der Erde erhoben wurden. Die Erfahrungen zeigen nämlich, dass nicht allein die vulkanischen Gesteine den abtragenden Vorgängen anheimfallen. Den größten Theil des mechanisch Denudierten machen die klastischen Gesteine aus, somit ein Material, das x-mal abgetragen und abgelagert wurde.¹⁾ Da aber die Mächtigkeit der Schichten eine locale, zahllosen Unregelmäßigkeiten unterworfenen Erscheinung ist, so steht auch ihr Wert dem des Salzgehaltes der irdischen Wasserhülle bei weitem nach.²⁾

Dieselben Einwände müssen wir selbstverständlich auch gegenüber anderen, jenem von Penck ähnlichen Versuchen (Lapparent u. a.) aufrecht erhalten, die von dem Betrag des mechanisch Denudierten und der mittleren Mächtigkeit der sedimentären Reihe ausgehen.

Der Ausdruck „das Alter der Erde“ dürfte eigentlich nur für solche Berechnungen, wie z. B. jene von Bischof oder Thomson, die die säculare Abkühlung der Erde betreffen,³⁾ vorbehalten sein; er wird aber nicht richtig auf die aus der Betrachtung der abtragenden Kräfte erzielten Resultate angewendet. Diese letzteren gehen vielmehr dahin, jenen Zeitpunkt in der Erdgeschichte zu bestimmen, da das Wasser auf der Erdoberfläche erschien und seine chemische und mechanische, abtragende und ablagernde Thätigkeit antrat; sie sollten daher zutreffender mit dem Ausdruck „das Alter der Hydrosphäre (Wasserhülle)“ belegt werden. Das Sieden und Niederschlagen des ersten Wassers auf der Erde dürfte nach Kuntze bei 200—300° C. erfolgt sein.⁴⁾ Die damalige, höchstwahrscheinlich viel dichtere und daher größeren Druck ausübende Atmosphäre berechtigt die Annahme eines höheren Siedepunktes des Wassers.

So sind wir zu der Frage gekommen, mit welcher geologischen Epoche die Aera der Denudation beginnt, d. h. in welcher Tiefe die untere Grenze der aus der Prüfung der Denudation resultierenden Zahlen zu suchen ist. Mag man über die Entstehungsweise der krystallinischen Schiefer streiten, doch steht es fest, dass die tiefsten Lagen von Gerölle und die ältesten Discordanzen im Felsgerüste der Erde unzweideutige Anzeichen der Thätigkeit des Wassers sind. In den jüngeren archaischen Bildungen der Nordostalpen, Sachsens, Wales', Norwegens und Nordamerikas sind Conglomeratbänke eingeschaltet. Sederholm hat in der archaischen Gruppe des süd-

¹⁾ „the rocks of one formation are largely derived from the sediments of preceding formations.“ (Reade, Geol. Time, S. 29); „Who can say how many times in the history of the globe the sediments have been turned over? We find blocks of Laurentian rock in the Huronian formation, and up to the present day every formation is made up principally of the remains of those that have preceded it“ (Id., Limestone as an index of geol. time, S. 50). Dasselbe hat auch Penck betont. (Ueber Denud. d. Erdoberfl., Schr. d. Ver. z. Verbr. Naturw. Kenntn. Wien 1887, S. 25—26); vgl. auch Neumayr-Uhlig, Erdgesch. 2. Aufl., 1. Bd., S. 586 und 589.

²⁾ Vgl. Hoernes, l. c. S. 627—628.

³⁾ „Das Alter der Welt auf mechanisch-astronomischer Grundlage“ zu ermitteln, hat Siegmund Wellisch versucht. Seine Ergebnisse sind jedoch viel zu gering (z. B. für das Alter der Erde circa 9, für das des Mondes circa 8, für jenes des Neptun circa 15 Millionen Jahre u. s. w.) und deshalb nicht annehmbar (Das Alter der Welt, 1899).

⁴⁾ „Kosmos“ V, S. 180.

lichen Finnland Discordanzen gefunden, die die ältere (ladogische) Stufe von der jüngeren (bottnischen) trennen.¹⁾ In der Gegend von Lake Superior hat Irving eine Discordanz an der Grenze von Laurentian und Huronian angenommen.²⁾ Die Discordanzen, die in Michigan an der Grenze der archaischen und präcambrischen (Algonkian) Bildungen und in den letzteren auftreten, wurden von Van Hise nachgewiesen.³⁾ So beweisen die Erfahrungen über die ältesten Gesteine der Erdkruste, dass spätestens während der Bildung der jüngeren krystallinischen Schiefer schon Wasser auf der Erdoberfläche vorhanden war, dass also das Alter der Hydrosphäre mindestens auch die höheren Glieder der archaischen Gruppe umfassen muß.⁴⁾

VI.

Die zweite Auflage seines Lehrbuches der chemischen und physikalischen Geologie eröffnete Gustav Bischof mit den Worten: „In der Erdkruste finden wir, soweit wir sie kennen, stets diejenigen Stoffe mit einander gemischt, welche die schwerlöslichsten Verbindungen geben. . . . Gibt ein Stoff mit mehreren anderen Stoffen schwerlösliche Verbindungen: so kommen die schwerlöslichsten am häufigsten vor.“ Diesen Gedanken hat Johannes Walther erweitert, indem er in geistreicher Weise das Darwin'sche Princip der Auslese auf die Gesteine anwendete. Die Auslese der Gesteine besteht darin, dass die Häufigkeit des Vorkommens eines Gesteins in umgekehrtem Verhältnisse zum Grade seiner Löslichkeit steht. Der abtragenden Kraft des Wassers ausgesetzt, verschwinden leichtlösliche Verbindungen fast gänzlich von der Erdoberfläche, die am schwersten oder gar nicht löslichen dagegen beteiligen sich an ihrem Aufbau. Daraus können wir den Schluss ziehen, dass die Erdoberfläche im Laufe der geologischen Epochen immer ärmer an löslichen Stoffen wurde, dass also in der geologischen Vergangenheit größere Mengen von löslichen Verbindungen auf der Erdoberfläche vorhanden waren.

In der Jetztzeit sind oberflächliche Anhäufungen von Salz beinahe ausschließlich beschränkt auf Wüsten, d. h. auf die abflusslosen und regenärmsten Regionen der Erde. In diesen Gebieten sind zutage tretende Salzlager zuhause und imstande, lange Zeiträume hindurch der Auflösung und Fortführung zu trotzen. Es darf daher die Angabe Herodot's nicht wundern, dass nördlich von der Sahara Steinsalz als Baumaterial dient: „διήκει δ'ὧν ἡ ὄρη μέγχι Ἑρακλήϊων στηλέων, καὶ τὸ ἕξω τούτων ἔστι δὲ ἀλάς τε μέταλλον ἐν αὐτῇ διὰ δέκα ἡμερέων ὁδοῦ, καὶ ἀνθρωποι οἰκέοντες · τὰ δὲ οἰκία τούτοισι πᾶσι ἐκ τῶν ἀλίλων χόνδρων οἰκοδομεῖται. ταῦτα γὰρ ἦδη τῆς Λιβύης ἀνομβρὰ ἔστι · οὐ γὰρ ἀν' ἡδυνάτο μένειν οἱ τοῖχοι ἐόντες ἄλινοι, εἰ ἦε. ὁ δὲ ἀλάς αὐτόθι καὶ λευκὸς καὶ πορφύρεος τὸ εἶδος ὀρύσσεται. Ὑπερ δὲ τῆς ὄρητος ταύτης, τὸ πρὸς νότον καὶ μεσόγαιαν τῆς Λιβύης, ἐρημος καὶ ἀνδρος καὶ ἄθηρος καὶ ἀνομβρος καὶ ἄζυλος ἔστι ἡ χώρα · καὶ

¹⁾ Bull. Comm. Géol. Finl. Nr. 6. Février 1899. S. 233.

²⁾ Seventh Ann. Rep. U. S. G. S., S. 440—441.

³⁾ Nineteenth Ann. Rep. U. S. G. S., Part III, S. 16.

⁴⁾ Reade betrachtet Laurentian als die erste sedimentäre Bildung (Limestone etc., S. 44).

ἰκμάδος ἐστὶ ἐν αὐτῇ οὐδέν.“ (IV, 185.) Auch in den Schriften von Plinius und Strabo begegnen wir Berichten über Wohnstätten, die aus Salz gebaut wurden.¹⁾

Tietze hat Salzlager auf der Erdoberfläche in der miozänen Salzformation Persiens beobachtet.²⁾ Im äußerst regenarmen Klima kommen Salzlager in Ostindien (Salt Range) am Indus zutage, und die Stadt Amb³⁾ liegt auf einem Salzberge. Schon Plinius war ein Salzberg, genannt Oromenus, in Indien bekannt.

Mehrmals ist die Ansicht ausgesprochen worden, dass Salzvorkommen in wesentlicher Beziehung zum Klima stehen.⁴⁾ Es hat dies schon Herodot mit Nachdruck betont, indem er die aus Salz errichteten Wohnstätten schilderte. Der Zusammenhang von Salzanhäufungen und klimatischen Verhältnissen ist besonders durch die Hypothesen von der Entstehung der Salzlager und Salzseen gewürdigt worden. Dasselbe erleuchtet auch aus dem von J. Walther aufgestellten Begriff der Auslese von Gesteinen. Ebenso wird dies durch die Entstehungsweise von Salzböden durch ein capillares Aufsteigen des Wassers im trockenen Klima bestätigt.⁵⁾ F. Pošepny hat in seinem oben angeführten Versuche, eine Erklärung des Ursprungs von Salzsteppen zu geben, darauf hingewiesen, dass Salzlagerstätten „gewissermaßen meteorologische Daten über die Beschaffenheit des Klimas früherer Formationsalter“ darbieten. Denselben Gedanken hat Tietze betont⁶⁾ und manchen wichtigen Beweis dafür aus der Verbreitung von Salzsteppen in trockenen Regionen (östlich vom Caspisee, Persien, Tibet) geliefert. Auch sind abflusslose Salzseen auf jene Gebiete der Erde beschränkt, die zu den regenärmsten gehören. Der außerordentlich hohe Chlornatriumgehalt des Wassers im Chélif (Algerien), den J. Roth einen „Wüstenfluss“ nennt, verräth die Nähe der Wüste. Je mehr sich dieser Fluss von der Wüste entfernt, nimmt auch der Salzgehalt seines Wassers rasch ab.⁷⁾

Wesentlich verschieden sind die Verhältnisse jener wenigen und daher berühmt gewordenen Gegenden, wo Salz außerhalb der Wüstengebiete Erhebungen der Erdoberfläche aufbaut.

Ein Steinsalzberg, über den bereits Plinius zu berichten wusste, kommt in Cardona (Spanien) vor, und seine Schilderung verdanken wir F. M. Stapff: „Unmittelbar unter der Citadelle von Cardona mündet in das Cardoner Thal ein kilometerlanges, S. 65. W.—N. 65. O. gerichtetes Seitenthälchen, welches der Salzberg von Cardona abschließt. Derselbe sieht aus wie eine Gletscherzunge, deren durchfurchtes Eis zwischen vielen Schmutzbändern hervorlugt. Diese Schmutzbänder, der thonige Rückstand wegge-

¹⁾ Herodoti Musae, ed. Creuzer-Baehr. Lipsiae. Vol. II, S. 610—611.

²⁾ Jahrb. Geol. Reichsanst. 1877, S. 363.

³⁾ Vgl. Abbild. in Neumayr-Uhlig, Erdgesch. 1895, Bd. II, S. 549.

⁴⁾ Walther, Einl. etc., S. 663; Neumayr-Uhlig, Erdgesch., 2. Aufl., 2. Bd., S. 548; Rehmman, l. c. S. 651 ff.

⁵⁾ Penck, Morph. I. Th., S. 212.

⁶⁾ Die Aufeinanderfolge von Gips und Salz im Tertiär Galiziens wird von Tietze als eine Folge von Veränderungen der klimatischen Verhältnisse aufgefasst (Hoernes, l. c. S. 635).

⁷⁾ Roth, l. c. I, S. 457—461.

lösten Salzes, schützen die Salzklippen vor den Angriffen des Regens. Eine 10–20 *m* mächtige, sehr verschlitzte Decke desselben „Lebergirges“ liegt oben auf. Die freien Salzflächen sind von oben nach unten canelliert, und zwar haben sich die Rieselwässer vorzugsweise in die thonigen Salzlagen eingeschlitz, während die reineren Salzrippen stehen blieben. . . . Die Breite der schroffen, zerrissenen, zackigen Salzwand beträgt etwa 150 *m*, ihre Höhe 60–70 *m*; doch steigt das Terrain hinter ihr noch an, und die Höhe des ganzen Salzberges wird zu 500 engl. Fuß angegeben. Das ganze Thälchen, worin „las Salinas“ liegen, scheint ehemals mit Salz gefüllt gewesen zu sein und durch dessen Weglösung entstanden. . . . Efflorescenzen desselben überziehen aber auch anderwärts den Sandstein.“¹⁾ Nach Cordier entfernen die atmosphärischen Niederschläge von der Oberfläche des Salzberges eine ungefähr 1·5 *m* dicke Schichte von Steinsalz in einem Jahrhundert.

In Siebenbürgen treten der 90 *m* hohe Salzberg von Parajd und ein anderer kleinerer von Szovata auf. In diese Salzberge haben die Bäche ihre Schluchten eingeschnitten und Salzlager bloßgelegt. Während des Hochwassers werden riesige Salzblöcke unterwaschen, deren Einsturz das Wasser der Bäche staut und Ueberschwemmungen verursacht. Salzberge sind auch in der Walachei bekannt.

Ferner kommen Salzfelser am Huallaga in Südamerika (Salinas de Pilluana) vor, wo blaues und rothes Salz in Kegeln und Pyramiden zutage tritt.

Dieser Fall, wo das Salz in regenreichen Gebieten²⁾ als Salzberge zutage tritt, muß als eine im geologischen Sinne vorübergehende, ja ephemere Erscheinung bezeichnet werden, deren Dauer nur von der jährlichen Regenmenge abhängig ist. Im hohen Grade wahrscheinlich ist die Vermuthung, dass die fraglichen Salzberge in geologisch jüngster Zeit infolge von Abtragung ihrer wasserdichten Hülle ans Tageslicht gebracht wurden und bestimmt sind, bald der Weglösung anheimzufallen und von der Erdoberfläche zu verschwinden.

Es wurde oben betont, dass aus der Auslese der Gesteine der Schluss gezogen werden kann, dass die Erdkruste in früheren geologischen Epochen reicher an Salz war. Berechtigt ist daher die Annahme, dass die Erstarrungskruste einen gewissen Gehalt an Salz besaß, welcher Gehalt durch die ersten sich aus der Atmosphäre niederschlagenden und in den damals vorhandenen Vertiefungen ansammelnden Gewässer weggelöst wurde und ein salziges Urmeer erzeugte; jedoch soll dadurch nicht bestritten werden, dass der heutige Salzgehalt der Oeane durch die weitere Zufuhr des Salzes im Flusswasser, daneben aber auch durch Salzabsatz aus einzelnen Theilen des Weltmeeres herausgebildet wurde.

Wir dürfen nicht vergessen, dass alle klastischen Gesteine Producte von Zerstörung der Erstarrungskruste und der aus dem Erdinnern durch

¹⁾ Zeitschr. d. Deutsch. Geol. Ges. XXXVI, 1884, S. 401 ff.

²⁾ Cardona befindet sich auf der Karte von Al. Supan (Verh. d. mittl. jährl. Regenmenge auf der festen Erdoberfl., Pet. Mitth. Erg.-Heft 124, Taf. I) im Bereiche mäßiger Niederschläge (500–750 *mm*).

In jenen Gegenden Siebenbürgens, wo Salzberge vorkommen, erreicht der jährliche Niederschlag eine Höhe von circa 65 *cm*.

Vulcanausbrüche geförderten Massen sind. Darin muss daher die eigentliche Quelle derjenigen Verbindungen liegen, die nachher als chemische Absätze in die Ablagerungen eingelagert wurden. Da aber die vulcanischen Ausbrüche nur verhältnismäßig geringe Mengen von Salz liefern, so kann sein Ursprung nur in der Erstarrungskruste vermuthet werden.¹⁾

Von einigen Forschern wird die Ansicht vertreten, dass das nach Abkühlung des glühenden Erdballs sich aus der Lufthülle niederschlagende Wasser mit Mineralstoffen, die wahrscheinlich als Dämpfe in der damaligen Atmosphäre vorhanden waren, darunter aber auch mit durch Verbindung von Chlor- und Natriumdampf entstandenen salzigen Bestandtheilen des Meerwassers gesättigt war, dass also auf diese Weise ein salziges Urmeer gedacht werden kann. Es sollen sogar „Wolkenbrüche von kochendem Salzwasser“ niedergegangen sein.²⁾ Die Möglichkeit, dass Natriumdampf einst in der Gashülle des feuerflüssigen Erdballs vorhanden war, wird bekräftigt durch die Spectralanalyse, die in der glühenden Dampfhülle der Sonne und anderer Himmelskörper unzweideutige Natriumlinien nachgewiesen hat.

Sterry Hunt³⁾ hat die Meinung ausgesprochen, dass aus der ursprünglichen, mit erhitzten Dämpfen beladenen Atmosphäre ein Regen von Salz-, Schwefel- und Kohlensäure niederfiel und sich auf der Erdoberfläche ansammelte. In diesem ersten Ocean sollen die in der Erstarrungskruste enthaltenen Silicate zersetzt worden sein und die Basen in Verbindung mit Chlor und Schwefelsäure verschiedene Chloride und Sulfate geliefert haben, während Kieselerde ausgeschieden wurde.

Für die Auffassung, dass der Urocean aus der Erstarrungskruste einen gewissen Salzgehalt bekommen konnte, sprechen die Thatsachen, dass auch die aus krystallinen Gesteinen hervorquellenden Gewässer Chloride enthalten, und dass das Salz zu den Sublimationsproducten der Vulcane gehört. Diese letztere Erscheinung hat Kuntze durch Zersetzung von Chlornatrium zu begründen versucht, das mit dem Meerwasser in die Tiefen der Erde eindringt, wo eine höhere Temperatur herrscht.⁴⁾ Bischof setzt das Vorhandensein von Chlornatrium in der ersten Erdkruste voraus und stützt sich auf das von ihm ausgeführte Experiment, wobei 100 Theile Basalt und 10 Theile Kochsalz zusammengeschmelzt wurden. Nun vermochte das Wasser aus dieser erstarrten und gepulverten Mischung 2·75 Theile Kochsalz wegzulösen,⁵⁾ während die Auflösung des übrigen Salzes erst nach vorangegangener Verwitterung erfolgen würde.

O. Kuntze hat aufs entschiedenste bestritten, dass ein salziger Urocean durch Auslaugung der Erstarrungskruste entstanden sei. Die Verwitterung von massigen Gesteinen soll nach ihm neben Thon und Sand auch

¹⁾ Des Ursprunges von Kalk aus der Erstarrungskruste erwähnt Reade (Limestone etc., S. 45).

²⁾ Vgl. Toulou, Salzgeb. etc., S. 44.

³⁾ The chemistry of the primeval earth. Ref. Verh. geol. Reichsanst. 1868, S. 86; Chem. and geol. Essays 1875, S. 40. Cit. nach Hull, How the waters etc., S. 6 ff.

⁴⁾ „Kosmos“, Bd. V, S. 176.

⁵⁾ G. Bischof, Lehrb. d. chem. u. phys. Geol., 2. Aufl.; 1. Bd., S. 14.

lösliche Verbindungen, darunter das für die Bildung von Salz benötigte Chlor aus Apatit¹⁾ geliefert haben, welche Stoffe in den oceanischen Becken angehäuft wurden. Die mechanische Verwitterung gibt kein Chlor, und da Kuntze das Erscheinen einer die Festländer überziehenden Pflanzendecke und somit den Anfang ihrer zerstörenden Einwirkung auf die Gesteine erst in die postcarbone Zeit versetzt, so ist nach ihm eine mehr intensive Versalzung der Meere kaum nach Abschluss des Carbons eingetreten.²⁾

Hull hat auf den Umstand aufmerksam gemacht, dass Chlor und Salzsäure in jedem Wasser vorkommen, und folgert daraus, dass diese Gase in Verbindung mit Alkalien die im Wasser der Oeane und abflusslosen Seen aufgelösten Salze geben. Die Anwesenheit der beiden Gase soll nach Hull die Ursache sein, dass die chemische Verwitterung der Gesteine verschiedene Sulfate und Chloride erzeugt, wobei wahrscheinlich der verhältnismäßig höhere Grad von Löslichkeit der Natronfeldspate das Vorrerrschen von Chlornatrium bedingt.³⁾

Es wurde von Tietze der Unterschied betont, dass die bei der Verwitterung von Gesteinen entstehenden Salze im feuchten Klima durch abfließendes Wasser entfernt werden, sich dagegen in einem trockenen anhäufen.⁴⁾ Im ähnlichen Sinne hat J. Walther das häufige Auftreten von Salz in Wüsten durch den Salzgehalt der im Meere abgelagerten Gesteine erklärt.⁵⁾

Nach J. Walther haben in der Dämmerung der Erdgeschichte gewaltige Vulcanausbrüche die dünne und von einer gleichmäßig vertheilten Wasserhülle umgebene Erdkruste durchbrochen und durch salzhaltige Eruptionsproducte das Wasser des Uroceans mit Salz gesättigt.⁶⁾

Wäre das Urmeer wirklich salzfrei gewesen, so dürften wir Salzlager erst in den späteren Abschnitten der Erdgeschichte erwarten. Doch erweisen die Erfahrungen das Entgegengesetzte. Im Folgenden sind die paläozoischen Salzvorkommen zusammengestellt, wie sie von den tiefsten sedimentären Ablagerungen zum Vorschein kommen und dadurch den Salzgehalt schon der ältesten oceanischen Wasseransammlungen beweisen.

Cambrium .	Salt Range in Punjab.
Untersilur .	Die Solen von St. Petersburg — Quellen mit überaus hohem Salzgehalt in Cumberland (Brandley Mine und Saltwell Park bei Keswick — Lower Ordovician, Skiddaw Slate).
Obersilur	Nordamerika (Onondaga salt group): Pennsylvanien, Ohio, Virginien, New-York (Salina, Syracuse) und Michigan; Goderich in Canada.

¹⁾ Ebenfalls wird dies von Tietze zugegeben (Jahrb. geol. Reichsanst. 1877, S. 365).

²⁾ „Kosmos“, Bd. IV, S. 39 ff.; Bd. V, S. 176; Bd. VI, S. 241.

³⁾ Prof. Edward Hull, How the waters of the ocean became salt. Vict. Inst. Journ. of Trans. XXVII, 106. London 1893—1894. S. 10.

⁴⁾ Jahrb. geol. Reichsanst. 1877, S. 364—365.

⁵⁾ Einl. etc., S. 784.

⁶⁾ Allg. Meereskunde. Leipzig 1893. S. 278—279.

Devon	Deutschland — Baltische Provinzen — Michigan (Winchell) — China.
Carbon .	England — Michigan (Saginaw) und Virginien.
Perm . .	Deutschland — Russland.

Von den Salzlagern von postpaläozoischem Alter (z. B. Trias oder Tertiär) abgesehen, erleuchtet es aus den paläozoischen Vorkommen, dass Salzabscheidung in durch irgendwelche Vorgänge abgeschnittenen Partien des Weltmeeres schon in den ältesten sedimentären Bildungen begann, dass also die ersten Ozeane ein salziges Wasser besaßen. G. Bischof ist sogar zu der Annahme geneigt, dass im Weltmeere die Zufuhr von Salz weit hinter den ausgeschiedenen Massen stehe, und schließt daraus, dass der Salzgehalt des Meerwassers im Laufe der geologischen Vergangenheit abgenommen haben müsse.¹⁾

Das häufige Emporquellen von salzigem Wasser aus den Silurablagerungen Nordamerikas, deren marinen Ursprung eine reiche Fauna bestätigt, hat Sterry Hunt bewogen, ein salziges Meer zur Zeit des Silurs zu vermuthen.²⁾ Im gleichen Sinne hat auf den durch Salzvorkommen im nordamerikanischen Silur gebotenen Beweis Edward Hull Bezug genommen und dessen Bedeutung mit paläontologischen Thatsachen begründet. Die silurischen Salzsolen Englands machen nach J. Postlethwaite die Annahme höchstwahrscheinlich, dass das Wasser des ersten Ozeans salzhaltig war.³⁾

Anlässlich der citierten Abhandlung von Hull hat D. Biddle die Meinung geäußert, dass bei höherer Temperatur im Wasser der ersten Meere alles Salz der Erde aufgelöst war. Durch das Auftauchen von Festland sollen einzelne Meerestheile abgetrennt worden sein und abflusslose Seen gebildet haben, in denen Salzabscheidung vor sich gieng. So wird der ganze Salzvorrath der Continente von dem Weltmeere hergeleitet.⁴⁾

E. Hull hat auch auf paläontologischem Wege den Salzgehalt des Urmeeres bewiesen. Er machte namentlich darauf aufmerksam, dass die jetzigen Vertreter der paläozoischen (vom tiefsten Silur an) fossilen Thierwelt aus-

¹⁾ l. c. S. 437: „Der Salzgehalt im Meere muss wenigstens eben so alt sein, als die Ablagerung des Uebergangsgebirges. . . .“

²⁾ Unter den Thatsachen, auf die sich O. Kuntze („Kosmos“, Bd. IV, S. 46) zur Stütze seiner später zu besprechenden Ansichten beruft, heißt es: „das Fehlen von Salzlagern in präcarbonischen Gesteinen, namentlich in der laurentischen, huronischen, silurischen Periode; nachträgliche Infiltrationen von Salzwasser kommen nicht in Betracht; auch die devonischen und carbonischen Salzlager sind selten und noch zu prüfen.“

Aus der Erwiderung Kuntzes an Hoernes (das., Bd. VI, S. 239) erfahren wir Nachstehendes: „Das älteste Vorkommen von Salz, zugleich das einzig bekannte im (oberen) Silur, ist bei Goderich, Ontario, und diese Salinagruppe documentiert sich als eine zwischen einer einmaligen Hebung und Senkung entstandene reine Continentalseebildung, weil sie petrefactenfrei ist, trotzdem sie . . . zu 86% aus zur Petrefaction geeignetem Mergel und Dolomit besteht; unter und über derselben lagern petrefactenführende Schichten.“

³⁾ Hull, How the waters etc., S. 4 und 14 ff.

⁴⁾ Das., S. 19.

schließlich Meeresbewohner sind, wie Korallen,¹⁾ Crinoideen, Asteroideen, Echinoideen, Brachiopoden und Cephalopoden.²⁾

Die Ansicht, dass der Urocean salzig war, wurde von vielen Geologen befürwortet. J. Roth³⁾ und J. Walther⁴⁾ haben die Verschiedenheit in der chemischen Beschaffenheit des Meer- und Flusswassers in Bezug auf den Percentgehalt an einzelnen Bestandtheilen hervorgehoben. Besonders ausdrücklich thut dies letzterer, und überzeugend ist seine Behauptung, dass „das Seesalz theilweise als ein Rest des Salzgehaltes im Urocean betrachtet werden müsse“.

Im Gegensatz zur Theorie eines salzigen Urmeeres oder — um von der Ausdrucksweise E. Hull's Gebrauch zu machen — zur chemischen Theorie hat die geologische Theorie eines salzfreien Uroceans und einer allmählichen Versalzung auch ihre Vertreter gefunden.

G. Boguslawski ist der Ansicht, der Salzgehalt des Meerwassers sei ein Resultat einer allmählichen Concentration des mit gelösten Stoffen beladenen Wassers der Flüsse.⁵⁾ Ein gleicher Ursprung des Salzgehaltes des Meerwassers wurde von J. Murray befürwortet.⁶⁾

Otto·Kuntze hat die Existenz eines salzfreien Urmeeres aus paläophytologischen Erfahrungen zu folgern versucht, wogegen von Hoernes Einwände erhoben wurden.⁷⁾ Nach der von Kuntze aufgestellten Hypothese sind Steinkohlen aus versunkenen Pflanzen entstanden, die im carbonen Ocean schwimmend lebten und überhaupt nur im Süßwasser zu gedeihen fähig waren. Später sollen dieselben wegen zunehmenden Salzgehaltes ausgestorben sein. Durch die Annahme eines salzfreien Uroceans und das Aussterben von Organismen infolge des immer höher werdenden Salzgehaltes des Meerwassers will Kuntze 20 verschiedene Thatsachen erklären, so „die

¹⁾ Kuntze („Kosmos“, Bd. IV, S. 250) führt zwei kalklose, im süßen Wasser lebende Verwandte der Korallen (*Hydra* und *Cordylophora*) an. Die Armut an Kalk soll nach Kuntze die Ursache sein, warum die anderen hier genannten Thiere im Süßwasser vermisst werden. Diese Erklärung dürfte nicht richtig sein, da im Wasser der Flüsse Kalkcarbonat unter den gelösten Stoffen das Uebergewicht behauptet, während es in der Zusammensetzung des Meerwassers vor anderen darin enthaltenen Verbindungen in den Hintergrund tritt. Es liegt auf der Hand, dass die Ursache dieses Verhältnisses, wie auch der äußerst geringen Zahl für das Alter des Gehaltes des Meerwassers an Kalkcarbonat in der Thätigkeit der kalkabscheidenden Organismen liegt. Es ist befremdend, was Kuntze behauptet, indem er die Continente zur Carbonzeit, im Gegensatz zum damaligen Ocean, einer Pflanzendecke entbehren will („Kosmos“, Bd. VI, S. 240), denn nur von solchen soll gelöstes Kalkcarbonat abgetragen werden. Von Festländern dagegen, die sich einer Vegetationsdecke erfreuen, wird Kalk nach Kuntze nur mechanisch verfrachtet, denn „die Pflanzen zersetzen alles gelöste Kalkcarbonat bereits auf dem Continente, indem sie Kohlensäure absorbieren und einfach kohlensauren Kalk ausfällen, so dass fast kein gelöster Kalk in das hohe Meer gelangt“. Die Analysen von Flusswasser widerlegen genügend diese Ansicht. Im Durchschnitt besteht nach J. Roth mehr als die Hälfte (60·1%) des im Wasser der Flüsse Gelösten aus Carbonaten.

²⁾ How the waters etc., S. 2 ff.

³⁾ L. c. Bd. I, S. 494.

⁴⁾ Einl. etc., S. 57 ff, 658; dasselbe betonte auch E. Hull (l. c. S. 7).

⁵⁾ Handb. d. Oceanogr. Stuttgart 18*4. Bd. 1, S. 131—132.

⁶⁾ The great ocean basins. Nature XXXII, S. 533.

⁷⁾ „Kosmos“, Bd. IV, S. 33 ff., 249 und 430 ff.; Bd. V, S. 239.

ungeheure zeitliche Unterbrechung (Dyas bis Mitte Tertiär) reicher Kohlenbildung“, „das sonstige Fehlen äquivalenter Mengen von löslichen Natronverbindungen im Verhältnis zu den Thonen, Thongesteinen und Quarzen, die aus Verwitterung der Urgesteine resultieren“, „das räthselhafte Fehlen von carbonischen Landthieren in einer bisher vermutheten carbonischen Landflora“, „das Fehlen von Salzlagern in präcarbonischen Gesteinen“ u. dgl.

So haben wir zwei verschiedene Theorien über die Herkunft der im Meerwasser gelösten Mineralstoffe: die chemische und die geologische. Es ist nicht zum erstenmal in der Geschichte der Geologie der Fall, dass zwei verschiedene Hypothesen zur Erklärung einer und derselben Erscheinung aufgestellt und beiderseits an der Hand wichtiger Beweisgründe befürwortet werden. Doch hat nicht selten keine von den im heftigen Streite begriffenen Parteien das Recht behauptet, vielmehr war der richtige Weg zur Erklärung der gegebenen Erscheinung in der Mitte, in der Versöhnung der beiden Parteien geboten. Mannigfaltige Factoren können dasselbe Resultat zur Folge haben, und es wäre ein Irrthum, irgendeine Erscheinung einseitig beurtheilen zu wollen. Ebenso was den Ursprung der im Seewasser gelösten Salze betrifft, dürfen wir einerseits die ehemalige Existenz eines salzigen Uroceans zugeben, wir müssen aber andererseits im Auge behalten, dass auch die Concentration des im Flusswasser Gelösten einen nicht unbedeutenden Antheil an der Ausbildung des heutigen Salzgehaltes der Oeane genommen hat. Die Erzeugung des Salzgehaltes ausschließlich durch allmähliche Versalzung muss nur auf abflusslose Seen beschränkt werden.

VII.

Es erübrigt noch eine Frage zu erörtern, die sich aus der Prüfung der chemisch denudierenden Vorgänge drängt, und zwar die Frage, ob der Betrag der chemischen Abtragung im Laufe der Erdgeschichte dem in der Gegenwart geltenden gleich war.

Seit seinem Entstehen erleidet der Erdball einen constanten Wärmeverlust, und die paläontologischen Erfahrungen lehren, dass in der geologischen Vergangenheit ein häufiger Wechsel der klimatischen Zustände stattgefunden habe. Gewaltige Transgressionen der früheren Meere dürfen nicht vorübergegangen sein, ohne die klimatischen Verhältnisse zu beeinflussen. Ein Wechsel des Klimas muss aber auch einen nicht unbedeutenden Einfluss auf die denudierenden Factoren ausgeübt haben. Eine Steigerung der Temperatur des Wassers hat eine Aenderung seiner Auflösungsfähigkeit, beziehungsweise der Menge des Gelösten und eine Beschleunigung der Verdunstung, damit aber auch des Kreislaufes des Wassers und der Erneuerung der oceanischen Becken durch ihre Zuflüsse zur Folge. Im allgemeinen steigt die Auflösungsfähigkeit des Wassers mit der Temperatur. Was aber das Kalkcarbonat betrifft, müssen wir den Umstand beachten, dass die Löslichkeit des Kalkcarbonates abhängig ist von dem Quantum der Kohlensäure, das das Wasser aufgenommen hat, und dass bei steigender Temperatur die Fähigkeit des Wassers abnimmt, Gase zu absorbieren. Bei zunehmender Temperatur sinken dagegen die Dichte und der Reibungscoefficient des Wassers, und in Folge dessen vermindert sich auch das Vermögen des fließen-

den Wassers, Schwebendes zu verfrachten.¹⁾ Das Sinken der Schlammführung bei steigender Temperatur wird zum Theile dadurch ausgeglichen, dass gleichzeitig die Geschwindigkeit wegen Abnahme des Reibungscoëfficientes größer wird. Es besteht also eine Wechselbeziehung zwischen der chemischen und mechanischen Denudation, eine Veränderung der Temperatur des Wassers vergrößert den Betrag der ersteren und vermindert jenen der anderen oder umgekehrt. Es wurde aber noch eine weitere Abhängigkeit der mechanischen und chemischen Abtragung von einander durch Experimente nachgewiesen. Die Versuche von Brewer haben gezeigt, dass zum Fallen eines feinen Schlammes in chemisch reinem Wasser ganze Jahre erforderlich sind. Sind dagegen im Wasser gelöste Stoffe enthalten, da geschieht das Fallen der feineren Theile viel schneller, im Meerwasser ungefähr 15mal so schnell als in dem der Flüsse. Diese Erscheinung, zu deren Erklärung das Mitwirken chemischer Prozesse angenommen wird,²⁾ macht die oben betonte Wechselbeziehung noch schärfer.

Dr. v. Romer bestreitet die Möglichkeit, dass bedeutende Veränderungen im Salzgehalt des Flusswassers unter dem Einflusse eines Temperaturwechsels während der sedimentären Epochen stattgefunden haben.³⁾ Als ein schlagender Beweis dafür wird die Thatsache angeführt, dass die größte Menge der gelösten Stoffe im Wasser der Themse, Elbe, des Rheins u. s. w. vorkommt, während dieselben Bestandtheile im Wasser von Amazonas oder Orinoco auf ein Minimum herabgedrückt werden. Der hohe Gehalt der ersteren Flüsse an Gelöstem lässt sich an der Hand von Beispielen, durch welche Reade den Einfluss einer dichten Bevölkerung u. dgl. auf die Menge des im Flusswasser Gelösten illustriert hat, leicht erklären.⁴⁾ Die erwähnten Flüsse, bei denen der Gehalt an Gelöstem sein Maximum erreicht, nehmen ihren Weg gerade durch jene Gegenden, wo die Industrie blüht und die Bevölkerung am dichtesten in der Welt ist.

Ferner üben Temperaturverhältnisse einen großen Einfluss auf die Abscheidung von Kalk durch Seethiere, wie dies von Murray und R. Irvine hervorgehoben wurde.⁵⁾

Reade hat aus der Gleichförmigkeit des Klimas in früheren Epochen auf einen geringen Niederschlag geschlossen, da das Zusammentreffen der Luftschichten von verschiedener Temperatur den Niederschlag bedingt.⁶⁾

Allgemein anerkannt ist der hohe Einfluss der Vegetation auf den Kreislauf des Wassers und auf den Process der Abtragung, was von Shaler durch Abbildungen veranschaulicht wurde.⁷⁾ Nun war die Pflanzendecke in

¹⁾ A. E. Forster, Die Temp. fließender Gewässer Mitteleuropas. Geogr. Abh., herausgegeben von Penck. Bd. V, Heft 4, S. 334.

²⁾ M. P. Rudzki, Opyt issljedowanija glawnjejschich jawlenij, nabludajemych u rjek. Zap. matem. otd. Nowoross. Obsch. Jestestwoisp., Tom XV Odessa 1893. S. 142—143.

³⁾ L. c. S. 49 und 51.

⁴⁾ Geol. time, S. 14.

⁵⁾ Eug. Dubois, The climates of the geological past. London 1895. S. 32.

⁶⁾ Geol. time, S. 30.

⁷⁾ The origin and ustare of soils, 12-th Ann. Rep. Un. St. Geol. Surv., Frg. 4., S. 254.

der Erdgeschichte mannigfaltigen Veränderungen unterworfen (um nur der üppigen carbonen Flora zu erwähnen); sie hat daher zu verschiedenen geologischen Epochen auch im ungleichen Maße die Circulation des Wassers und die Denudation beeinflusst.

Die Permanenz der oceanischen Tiefen hat ihre Anhänger und Gegner. Ebenfalls verschieden sind die Meinungen darüber, ob in vergangenen geologischen Epochen die Continente größer oder kleiner als heute waren. In letzterer Hinsicht möchte ich an den Umstand erinnern, auf den Penck aufmerksam gemacht hat,¹⁾ dass bei der Beurtheilung der Landvertheilung in einzelnen geologischen Epochen die Contraction der Erde in Betracht komme. Der Betrag der Verminderung der Erdoberfläche infolge von Zusammenschrumpfen ist schwer zu schätzen, doch bieten die Berechnungen Heim's über die Verkürzung des Erdumfanges durch das Aufstauen der Alpen und des Juragebirges wenigstens eine gewisse Vorstellung von der Amplitude dieses Vorganges. Vorausgesetzt, dass die Menge des Wassers auf der Erde seit dem Anfange der paläozoischen Schichtfolge keine namhafte Veränderung erlitten hat, müssen wir entweder seichtere Meere oder ausgedehntere Festländer in längst verstrichenen Epochen vermuthen. Ein solches Verhältnis wird noch mehr wahrscheinlich, wenn wir bedenken, dass die damalige Atmosphäre bei höherer Temperatur auch mehr Wasserdampf aufzunehmen imstande war.

Ohne darauf näher einzugehen, müssen wir nur die Thatsache feststellen, dass im Laufe der Erdgeschichte bedeutende Veränderungen in der Vertheilung von Wasser und Land stattgefunden haben. Die ehemaligen Festländer waren bald umfangreicher, bald geringer im Verleiche zu den heutigen, jedenfalls aber dürfte ein anderes Verhältnis der abfließenden zu der oceanischen Wassermenge als heute geherrscht haben, daher auch das Schauspiel der chemischen Denudation und deren Betrag tiefgehenden Veränderungen unterworfen sein.

Eine ähnliche Rolle in Beziehung auf die chemische Abtragung könnte wohl auch anderen großartigen Erscheinungen, denen wir in der Erdgeschichte begegnen, zugehört werden, und zwar dem Aufthürmen von mächtigen Gebirgsketten und deren Abtragung einerseits, dem Eingreifen ausgedehnter Transgressionen und deren Zurückweichen andererseits, zwischen welchen beiden Vorgängen Frech einen innigen Zusammenhang vermuthet.²⁾

Trefflich hat E. Mojsisovics v. Mojsvár³⁾ die Geschichte der Continente entworfen: „Zur cambrischen, silurischen und devonischen Zeit herrschten in den heutigen Ländercomplexen der alten und neuen Welt pelagische Bedingungen. Zur devonischen Zeit tritt jedoch der Einfluss naher Küstenlinien stellenweise bereits sehr entschieden hervor. Zur Carbonzeit rücken die Küstenlinien ausgedehnter Festlandspartien sehr nahe heran, und es bilden sich so ziemlich gleichzeitig in beiden Hemisphären die größten

¹⁾ Penck, Morph. I, S. 174ff.; Neumayr-Uhlig, Erdgesch., 2. Aufl., 1. Bd., S. 413ff.; Reade, On geol. signif. of the Chall., S. 39ff.; Limestone etc., S. 48—49; Den. of the two Am., S. 30ff.

²⁾ Morph. I, S. 181.

³⁾ Die Steinkohlenform. Stuttgart 1899. S. 401.

und wertvollsten Kohlenbecken der Erde. Zur Perm- und Triaszeit folgt sodann im großen und ganzen eine Continentalperiode. Hierauf bedeckt im Jura allmählich das Meer wieder Theile des Triascontinentes; die Ueberflutung hält zur Kreidezeit an und erreicht, wie es scheint, in der oberen Kreide das Maximum ihrer Ausdehnung. Während der Tertiärzeit endlich tritt das Meer wieder zurück und bereitet sich die gegenwärtige Continentalperiode vor.“ (Die Dolomitriffe von Südtirol und Venetien, S. 9.)

Indessen treten Perioden der Vergletscherung (z. B. die permo-carbone, die diluvialen Eiszeiten) hervor und fallen, wie es Suess¹⁾ dargelegt hat, merkwürdigerweise mit Transgressionen früherer Meere zusammen. Unverkennbar ist der weitgehende Einfluss, den die Eiszeiten auf die chemisch denudierenden Agentien ausüben dürften, indem sie ungeheure Wassermengen dem allgemeinen Kreislaufe entziehen. Es möge die nachstehende Berechnung eine wenigstens unvollständige Vorstellung von der genannten Rolle der Eiszeiten bieten. Denken wir uns, dass zur Zeit der Haupteiszeit in Europa $7\frac{1}{2}$, in Nordamerika $12\frac{1}{2}$, also zusammen 20 Millionen km^2 mit einer im Durchschnitte mindestens 500 m dicken Eisdecke belastet waren,²⁾ und berücksichtigen wir die Ausdehnung des Wassers beim Erstarren, so entsprechen dieser gewaltigen Eismasse 9·2 Millionen km^3 Wasser. Das ist $\frac{1}{186}$ der oceanischen Wassermasse oder soviel, wieviel in 374 Jahren von den Festländern nach dem Meere abfließt. Die gegenwärtige Vereisung umfasst nach Penck in den beiden Halbkugeln ein Areal von circa $16\frac{1}{4}$ Millionen Quadratkilometer.³⁾ Gesetzt, dass die gegenwärtige Eisdecke im Mittel nur 100 m mächtig ist, so bleiben darin dennoch $1\frac{1}{2}$ Millionen km^3 Wasser von dem allgemeinen Kreislaufe abgeschlossen. Dieses Quantum macht $\frac{1}{646}$ des Volumens der Oeane aus und würde denselben durch Flüsse in 61 Jahren zugeführt werden. In der Jetztzeit bedeckt das Inlandeis der nördlichen Halbkugel Gebiete, die in einer nicht entfernten geologischen Epoche eisfrei waren, sich vielmehr einer üppigen Vegetation erfreuten (Kreideflora Grönlands, tertiäre, und zwar miozäne Pflanzen in der Nähe des 80. Breitgrades auf Grönland, Spitzbergen und Grinelland⁴⁾). ¶Dies bedeutet, dass erst in der jüngsten Phase der Erdgeschichte durch die Bildung von Inlandeis große Wassermengen dem Kreislaufe entzogen wurden. Ein äußerst langsames Abschmelzen an den Rändern macht die in den Eismassen gefesselte Wassermenge nur in höchst geringem Grade der allgemeinen Circulation zugänglich.

Zahllos und mannigfaltig sind die Veränderungen, deren Schauspiel die Erdoberfläche in der geologischen Vergangenheit war, und von denen die natürlichen Bedingungen der chemischen Abtragung im nicht geringen

¹⁾ Die Entstehung der Alpen. Wien 1875. S. 117 ff.

²⁾ Supan, Grundz. d. phys. Erdk., 2. Aufl. Leipzig 1896. Taf. XIII; Armand Helland, Zeitschr. d. Deutsch. geol. Ges. 1879, S. 75; James Geikie, Earth Sculpture. London 1898. S. 186—187; Neumayr-Uhlig, Erdgesch., 2. Aufl., 2. Bd., S. 427; Kayser, Lehrb. d. Geol., 2. Theil. Stuttgart 1891. S. 342 und 353.

³⁾ Supan, das., S. 165.

⁴⁾ K. v. Fritsch, Allg. Geol. Stuttgart 1888. S. 457 ff.; Kayser, l. c., 2. Theil, S. 317.

Maße beeinflusst wurden. Diese Veränderungen sind daran Schuld, dass wir aus der Betrachtung der in der Gegenwart vor sich gehenden Vorgänge der chemischen Denudation keinen Anhaltspunkt für eine wenigstens annähernde Beurtheilung deren Betrages in längst vergangener Zeit gewinnen können. Wir begnügen uns damit, die Existenz ununterbrochener Veränderungen und ihren weitgehenden Einfluss auf die Wirkungen der chemischen Abtragung festzustellen und mit Thatsachen zu belegen; derzeit ist es aber nicht möglich, den Betrag dieses Einflusses in mathematischen Formeln zu präzisieren und auf deren Grund an eine, wenn auch nur approximative Corrigierung jener Zahlen zu gehen, die im Vorbergehenden für die Beziehungen zwischen der Arbeit der chemischen Denudation einerseits und der Dauer der geologischen Zeiträume andererseits aufgestellt wurden.

Lemberg, Mitte October 1900

Nachtrag.

Bereits nach Vollendung dieses Aufsatzes wurde die einschlägige Literatur um zwei Abhandlungen reicher, welche für die von mir berührten Fragen von großer Bedeutung sind, leider aber nicht mehr benutzt werden konnten. Doch soll ihnen wenigstens nachträglich Rechnung getragen werden. Johannes Walther hat einen besonderen Abschnitt seines neuen Werkes über die Wüsten („Das Gesetz der Wüstenbildung in Gegenwart und Vorzeit“, Berlin 1900) der Bildung von Salzlagern in abflusslosen Regionen gewidmet. Den Kreislauf des Kalkes behandelt Eugen Dubois (The Amount of the Circulation of the Carbonate of Lime and the Age of the Earth, Koninklijke Akad. van Wetenschappen te Amsterdam, Proc. May 26, June 30, 1900; vgl. auch Geol. Centralblatt, 1901, Ref. 225), und daraus schätzt er das Alter der Erdkruste mit Hunderten von Millionen Jahren. Aus der Fülle von Angaben greife ich nur diejenigen Zahlen heraus, welche den weitgehenden Einfluss der Städte und des Wasserstandes auf den Gehalt der Flüsse an Gelöstem illustrieren (l. c., S. 49). Es enthielt nämlich 1 Liter Rheinwasser:

	Sehr niedriger Wasserstand 21. Oct. 1870	Hochwasser 8. Nov. 1870
oberhalb Köln	109·37	52·37
in „	115·78	68·92
unterhalb „	123·44	108·68
mg Kalkcarbonat.		
