

Die
Entstehung der Kalksteine
und
der Kreislauf des kohlen-sauren Kalkes.

Von

Franz Toula,

o. ö. Prof. an der k. k. techn. Hochschule in Wien.

Vortrag, gehalten den 14. Januar 1891.

Hochverehrte Anwesende!

Über dem heutigen Vortragsabende waltet ein böser Stern. Der im Programme angekündigte Vortrag des Herrn Directors der Sternwarte, Prof. Dr. Edmund Weiß, über die Oberfläche der Planeten, kann infolge eines Krankheitsfalles in der Familie des genannten Herrn nicht stattfinden. Die Herren, an welche Ihr Vortragscomité herantrat, waren nicht in der Lage, entsprechen zu können, und so musste ich selbst mich bereit machen, einzuspringen. In den letzten vierundzwanzig Stunden ward ich aber durch Umstände, welche an anderer Stelle vielleicht noch näher auseinanderzusetzen sein werden, und welche ohne mein Verschulden hervorgerufen wurden, genöthigt, das vor etwa fünf Tagen gewählte Vortragsthema zu wechseln, da es mir unmöglich gemacht wurde, die vorbereiteten Projectionen vorzunehmen. Ich entschloss mich in letzter Stunde, die Frage nach der Entstehung der Kalksteine zu erörtern, die uns einen Kreislauf des kohlensauren Kalkes vorführen wird.

Kreisläufe der Stoffe der Erde lassen sich im großen und kleinen verfolgen. Solche Kreisläufe beherrschen das Weltall und gehören gewiss zu den

großartigsten und gewaltigsten Vorgängen auf der Erde und im All, und alle unsere Bemühungen, den Schöpfungsgedanken grübelnd zu verfolgen, führen uns immer wieder in solche Zirkel und damit an die Grenze unseres Fassungsvermögens. Ungeahnte Aufschlüsse über das Wesen der Dinge verdanken wir dem Mikroskope; sowie aber die Wirkung der immer weiter gehenden Vergrößerung ihre Grenze findet in der entsprechend abnehmenden Lichtstärke der dadurch erzielten Bilder, so ergeben sich auch in anderen Richtungen der Forschung Grenzen unseres Erkennungsvermögens.

Bis zur Erkenntnis der Kreisläufe aber sind wir im großen und kleinen vielfältig gelangt.

Führt uns nicht die Vorstellung über Welterschöpfung und Weltuntergang im Verfolg der Kant-Laplace'schen Hypothese zu einem solchen Kreislaufe unseres ganzen Planetensystemes? Bezeichnet nicht auch die Ferd. v. Richthofen'sche Vorstellung von der Aufeinanderfolge der verschiedenen Stadien in der Entwicklung und Veränderung der Gebirge einen großartigen Kreislauf? Er beginnt mit der Aufschüttung von Zerstörungstoffen in den Meerestiefen, wodurch Flachböden geschaffen werden, die durch Umsetzung der Meeresvertheilung emporgerückt und trockengelegt, in marine Flachböden umgewandelt werden können, worauf Brüche, Absenkungen, Faltungen, Überschiebungen, mit einem Worte alle die Prozesse der eigentlichen Gebirgsbildung folgen. Die so entstehenden Gebirge aber verfallen dann wieder

den Angriffen des Wassers und der Atmosphäre, werden abradiert und denudiert, mit einem Worte abgetragen; aus den wohlentwickelten Gebirgen werden Rumpfgebirge, Erosionsgebirge oder Schollengebirge, die bis zur Fläche ausgeebnet und unter das Meeresniveau gerückt werden können, wo dann wieder die Aufschüttung platzgreift und der Kreislauf aufs neue beginnt.

Auf ähnliche Weise verfolgen wir Kreisläufe des Wassers auf der Erde, der einzelnen Elemente, und so können wir uns auch von dem Bestande eines Kreislaufes des kohlensauren Kalkes unschwer überzeugen. Dabei haben wir vor allem die Verbreitung der Kalksteine ins Auge zu fassen. Wir finden sie in gebirgsbildenden Massen, z. B. in unseren Alpen in förmlichen Zonen, nördlich und südlich von der centralen, aus krystallinischen Gesteinen bestehenden Region; wir finden sie aber auch in dieser Centralzone selbst in der Form von krystallinisch-körnig gewordenen Zügen und Einlagerungen und so wie in den Alpen auch in den verschiedensten anderen Gebirgen der Erde. Außerdem aber treten sie hie und da auch in der Form von Ganggestein, in anderen Gebirgsarten eingelagert auf, als Ausfüllungsmaterial alter Risse und Sprünge der Erdkrustentheile oder in Hohlräumen der in Zersetzung begriffenen Eruptivgesteine. Wir sehen weiters Kalk in der Form von Kalkschlamm, rein oder mit Thon gemengt, aus den Tiefen der Meere heraufgebracht werden, der dann, wenn rein, vertrocknet zu einer kreideartigen Masse wird. In gelöster

Form finden wir ihn aber auch in allen die Kalkgebirge durchsickernden Gewässern, die ihn dann zuweilen in Höhlen und Klüften in der Form von Tropfsteinen und Sinterbildungen zum Absatze bringen. Solche Bildungen sind auf die Eigenschaft des Wassers zurückzuführen, Kalk in größerer Menge aufzulösen, besonders wenn es kohlenensäurehältig ist, und ihn wieder abzuschneiden, wenn es an der Luft verdunstet und die Kohlensäure verliert oder gegen Luft austauscht, wie dies beim Fallen des Tropfens durch die Luft der Höhle gewiss geschehen kann. Auf ähnliche Weise müssen wir uns wohl auch die vorhin erwähnten Kalke entstanden denken, die in krystallinischer Ausbildung als Ausfüllung von Gängen und Spalten im Gebirge auftreten. Diese Ausscheidung muss nicht immer in fester Form als Sinter oder als Tropfsteinbildung vor sich gehen, es ist auch denkbar, dass in zugereichen Höhlen der Kalk in Form von Kalkmehl herausfallen kann, wie es beispielsweise in einem Theile der bekannten Hermannshöhle bei Kirchberg am Wechsel thatsächlich der Fall ist.

Aber auch unser Quell- und Flusswasser enthält unter Umständen verhältnismäßig nicht unbeträchtliche Mengen von Kalk aufgelöst; hat man doch beispielsweise ausgerechnet, dass die vom Kaiserbrunnen und von der Stixensteiner Quelle im Laufe eines Jahres aus der Erde herausgeförderte Menge gelöster Stoffe (vorwaltend Kalkcarbonat) nicht weniger als $1500 m^3$ betrage, einen Raum vorstellend, um etwa die Hälfte

größer ist als der unseres Vortragssaales. (Und doch beträgt der Gehalt an gelösten Stoffen in diesen Wässern nur 1·395 Theile in 10.000 Theilen Wasser; davon entfallen 1·03 Theile auf den Kalk). Dieser Betrag ist nun aber durchaus kein großer; er steigt z. B. schon in den Tiefquellen von Haschendorf bei Neustadt auf 2·33 und erreicht in den Mineralquellen Beträge, die zehn-, zwanzig- und mehrmal größer werden: so enthält der Sprudel von Karlsbad in 10.000 Theilen 55·168 Theile gelöster fester Stoffe, freilich kommen davon nur 3·2 Theile auf den kohlensauren Kalk. Auf solchen Kalkgehalt der Quellen sind die Abscheidungen von Kalk in der Form von „Kalktuff“ zurückzuführen, die überall dort eintreten, wo den Gewässern die die Lösung begünstigende Kohlensäure entzogen wird, was besonders durch Mitwirkung pflanzlichen Lebens begünstigt wird, wobei wir nach Cohen anzunehmen hätten, dass die Vegetation die Bildung der ersten Krustenbildung verursache, und dass wir uns das Fortwachsen etwa so vorzustellen hätten, wie das Fortwachsen eines Krystalls und das Anschließen neuer Krystalle in der nahezu gesättigten Mutterlauge, wobei dies dann so lange forterfolgt, als überhaupt noch das entsprechende Salz in der Lösung ist. Auch schreitet die Ausscheidung von Kalk noch weiter fort, die eigenthümlichen Tuffröhren wachsen weiter, wenn die inkrustierten Pflänzchen, wie es bei den Moosen der Fall ist, an den Spitzen außerhalb der Röhren fortwachsen.

Auf diese Weise erklärt Cohen die Bildung der berühmten Kalktuffmassen von Tivoli bei Rom, die als Travertin wohlbekannt sind und seit den ältesten Zeiten das Hauptbaumaterial für Rom geliefert haben, ein Baumaterial, das, wie man sagen kann, vor unseren Augen weiter wächst. Die Pflanzen, welche die Entstehung der Tuffe anregten, sind übrigens in festeren älteren Lagen des Tuffes in der Regel nicht mehr nachzuweisen, sie sind vermodert und die Räume nachher mit Kalk ausgefüllt: „calciniert“ worden. Dass auch andere Pflanzen, vor allen aber die Algen, dabei mitwirken können, braucht wohl nicht erst betont zu werden.

Dass auch in unseren Flüssen neben anderen Verbindungen kohlenaurer Kalk in namhaften Mengen fort und fort mitgewälzt und schließlich ins Meer geschleppt wird, ist selbstverständlich, ebenso aber, dass das Mengenverhältnis mit der jeweiligen Wassermenge variiert, so dass bei hohem Wasserstande also das Flusswasser in der gleichen Menge weniger gelöste Substanzen führen wird oder, wie wir sagen, weniger hart, beziehungsweise „weicher“ sein wird als bei Niederwasser. (Den Zusammenhang der Bezeichnungen hart und weich, mit der geringeren und größeren Leichtigkeit in den betreffenden Wässern Hülsenfrüchte weich zu kochen, brauche ich wohl nicht weiter zu erörtern.) So wissen wir z. B., dass die Themse westlich von London je nach ihrer Wasserhöhe in 10.000 Theilen 2·38—3·16, ja bei Chelsea weiter abwärts zwischen 3·23 und 5·80 Theile fester

Substanzen in gelöster Form führt, während die Moldau bei Prag nur ein Schwanken zwischen 0·42 und 0·91 zeigt. Dieser auffallende Unterschied ist auf die ganz verschiedenen Verhältnisse der beiden Flussgebiete zurückzuführen. Die Moldau fließt durch ein krystallinisches Gebiet und hat dabei mit allen ihren Zuflüssen schon allein aus diesem Grunde in viel geringerem Maße Gelegenheit, lösliche Stoffe aufzunehmen, als die Themse und andere Flüsse. Für die Donau bei Wien besitzen wir Bestimmungen von J. F. Wolfbauer, wonach das Schwanken zwischen 1·461 (Mai—August) und 1·952 (November—Januar) erfolgt, wobei auf den kohlen-sauren Kalk 0·864 und 1·105 Theile in 10.000 Theilen entfallen. Zunächst kommt im Donauwasser der Gehalt an kohlensaurer Magnesia (0·269—0·418 Theile) und Gips (0·148—0·222). — (Wer sich für Vergleiche interessiert, findet sehr viele Angaben über die Zusammensetzung der Flusswässer in J. Roth's Allgem. und chem. Geologie, I. Bd., Berlin 1879, S. 456 und 457, sowie in Bischof's Chem. und physik. Geologie, I, 271 ff.) Der große Gehalt an kohlensaurer Magnesia im Donauwasser ist sicherlich auf die Dolomitgebirge im Bereiche der aus den Alpen kommenden Donau-zuflüsse zurückzuführen.

Mit wenigen Ausnahmen überwiegt in den Flüssen der kohlensaure Kalk, doch ist auch zu erwähnen, dass neben vielen anderen Stoffen auch Kieselsäure in gelöster Form, und zwar in oft gar nicht so unbedeutlicher Menge im Flusswasser sich findet (in der Donau

0·039—0·054). Da Kieselsäure ein Hauptausscheidungsproduct so vieler Organismen ist, hat der Hinweis auf das Auftreten in gelöster Form immerhin einige Bedeutung. Der Ursprung derselben ist vor allem auf Zersetzungs Vorgänge in krystallinischen Silicatgesteinen zurückzuführen, bei welchen Vorgängen Kieselsäure frei wird und von den Gewässern aufgenommen werden kann.

Die relative Menge der gelösten festen Stoffe ist nach dem Gesagten immer noch sehr gering, im Mittel etwa ein Sechstausendstel ($\frac{1}{6000}$) des Gewichtes des Wassers, was mit anderen Worten heißt, dass die Flüsse in etwa 6000 Jahren so viel feste Stoffe ins Meer bringen, als das jährliche Gewicht ihrer gesamten Wassermasse beträgt. Man erhält auf diese Weise auch eine Vorstellung der Massen von festen Stoffen in gelöster Form, welche die Flüsse ins Meer schleppen. So hat Breitenlohner, um nur ein Zahlenbeispiel aus Österreich anzuführen, berechnet (Verh. der geol. Reichsanst. 1876, S. 174), dass die Elbe aus Böhmen im Jahre 482 Millionen Kilogramm gelöste Bestandtheile (fast gleich viel: $495\frac{3}{4}$ Millionen Kilogramm in suspendirter [schwebender] Form) hinausträgt, oder etwa $192.800 m^3$, das wäre aber ein Würfel von circa 57 m Seitenlänge.

Man hat nun aber weiter berechnet, dass alle Flüsse der Erde zusammengenommen in etwa 15.000 Jahren ¹⁾

¹⁾ Neumayr, Erdgeschichte, I, 555.

so viel Wasser in die Meere ergießen, als das Gesamtvolumen der Meeresräume beträgt, also beiläufig 1200 Millionen Cubikkilometer, dass sich also in dieser Zeit die gesammte ungeheure Menge des Meerwassers erneuert haben könnte, was zugleich eine Vorstellung von dem großen Kreislaufe des Wassers geben mag. Da nun aber, wie wir sahen, das Quantum der gelösten Stoffe im Wasser wenigstens annäherungsweise bekannt ist und nach 6000 Jahren dem Gewichte des jährlich ins Meer ergossenen Wassers gleichkommt, so würde durch die Multiplication von $15000 \times 6000 \times 2.6$ (dem beiläufig angenommenen specifischen Gewichte der gelösten Stoffe) die Zeitdauer sich ergeben, in welcher allein durch die gelösten Stoffe die Meeresräume erfüllt sein müssten. Diese Multiplication ergibt aber 234 Millionen Jahre.

Wenn nun auch dieses Rechenexempel zu weit führen mag, so ist doch so viel sicher, dass auf jeden Fall das Meer bald, d. h. nach wenigen Jahrtausenden, mit kohlenaurer Kalkerde gesättigt werden müsste, ja dass dies wohl schon der Fall sein müsste, da die heute bestehenden Verhältnisse in der That schon viele Jahrtausende andauern.

Betrachten wir uns nun aber vor weiteren Ausführungen die chemische Zusammensetzung des Wassers der Oberfläche der Oeane (eine große Anzahl von Analysen aus den verschiedensten Meeren enthält das schon citierte Werk von J. Roth, I, S. 490—531), so finden wir in 1000 Theilen Meerwasser einen mittleren

Salzgehalt von 34.299, und es entfallen nach Forchhammer auf:

	Theile	in Proc.
Chlornatrium	26·862 =	78·32
Chlorkalium	0·582 =	1·69
Chlormagnesium	3·239 =	9·44
Magnesiumsulfat	2·196 =	6·40
Kalksulfat	1·350 =	3·94
außerdem verschiedene andere Stoffe	0·070 =	0·21
Zusammen .	34·299 =	100·00

Wir ersehen daraus, dass vor allem der Bestandtheil, welcher unter den gelösten Stoffen der Flüsse die Hauptrolle spielt, der kohlensaure Kalk, nur unter den nebensächlichen Bestandtheilen des Meerwassers auftritt. So gibt Jacobsen denselben mit 0·022 bis 0·031 in 1000 Theilen Wasser an. (In der Nähe von Flussmündungen ist dieser Gehalt sicherlich viel größer.) Für den Gehalt an Kalk im Meerwasser ist zweifellos auch der Gehalt an Kohlensäure von Bedeutung, der wieder etwas variabel ist (im atlantischen Ocean bei 25° Wassertemperatur und einer Meerwasserdichte von 1·02659 im Liter 0·0409 gr, im Südseewasser bei 1·02593 Dichte 0·0332 gr. Bischof fand im Wasser des Canals zwischen England und Belgien 0·057 Theile in 1000 Theilen). Dort, wo das Meerwasser lebhaft brandet, verliert es seine Kohlensäure, und dort wird es unter Umständen sogar zu Kalkabsatz kommen.

Wenn wir die geringe Menge, die untergeordnete Rolle des Kalkcarbonates unter den gelösten Stoffen des Meerwassers ins Auge fassen und daneben den Umstand erwägen, dass gerade das Kalkcarbonat unter den Absätzen, den Neubildungen am Grunde der Oeane, die Hauptrolle spielt, so könnte uns die letztere Thatsache die räthselhafte erst angeführte erklären. Wir könnten annehmen, dass eben der weitaus größere Theil der stets durch die Flüsse zugeführten Kalkcarbonate, abgesehen von den localen Absätzen an Punkten besonders intensiver Brandung, für jene marinen Kalkabsätze am Grunde der Oeane benützt wird, wodurch jenes selbst im allgemeinen für constant anzusehende Mischungsverhältnis eine Erklärung finden könnte. Gesättigt ist das Meerwasser an kohlen-saurem Kalk noch lange nicht. In der Regel enthält das Wasser weit mehr Kohlensäure, als zur Auflösung des Kalkcarbonates nöthig ist, so jenes im Canal nach Bischof (l. c. I, 582) fünfmal so viel. Die Vermittlungsrolle bei dem Absatz der Kalkmassen, die auf so enorme Weiten den Boden der Tiefseeabgründe der Oeane bedecken, spielen die Organismen, die in ihren Harttheilen zum weitaus größeren Theile Kalkcarbonat ausscheiden, neben welchen, z. B. in den Hartgebilden riffbauender Korallen, ausnahmsweise auch etwas Magnesiicarbonatauftritt. (Sillimangibt in lebender Koralle nur unter 1 Procent Magnesia an, während er in einem alten „gehobenen“ Korallenkalk der Insel Matea neben 61·93 Procent Kalk 38·07 Procent

Magnesiicarbonat vorkam). Neben dem Kalkcarbonat ist als Ausscheidungsmaterial von Organismen noch die Kieselerde zu nennen. — Damit sind wir an die Betrachtung der gesteinsbildenden Organismen gelangt. Bevor ich aber die wichtigsten dieser organischen Körper einer kurzen Betrachtung unterziehe, wäre noch der Frage zu gedenken, wie man sich die Aufnahme und Abscheidung des kohlensauren Kalkes durch die Organismen vorzustellen habe, eine Frage, welche übrigens noch lange nicht erledigt ist, eines Processes aber, der genügt, um das Gleichgewicht des im Meerwasser aufgelösten kohlensauren Kalkes zu erhalten, eines Processes, an welchem sich Thiere und Pflanzen des Meeres betheiligen.

Die Ausscheidung des Kalkcarbonates aus dem Meerwasser ohne Mitwirkung organischer Vorgänge hat Bischof untersucht, und er kam zu dem Resultate, dass selbst als 75 Procent des Versuchswassers verdunstet waren, noch immer keine Kalkcarbonatausscheidung erfolgte. Nach Usiglio freilich wurde aus Mittelmeerwasser schon Kalkcarbonat abgesetzt, als die Hälfte desselben verdunstet war.

Die Frage, ob die Thiere nur den kohlensauren Kalk des Meerwassers für den Aufbau verwenden oder ob sie vielleicht doch den in so großer Menge vorhandenen schwefelsauren Kalk zu zersetzen vermögen, ist gleichfalls wiederholt erörtert worden, und nicht nur Mohr hat sich mit dieser Frage beschäftigt, auch Forchhammer hat sie in Betracht gezogen. Erfolg

freilich haben die betreffenden Erörterungen noch nicht gehabt; wir kennen eben keinen Vorgang, der uns die Umwandlung von Kalksulfat in Kalkcarbonat durch den Lebensprocess der Organismen verfolgen ließe. Wir werden also fürs erste daran festhalten müssen, dass es thatsächlich der infolge des Kreislaufes ins Meer gelangende kohlen saure Kalk ist, der den kalkabsondernden Thieren das Material für ihre Gerüst- und Hartgebilde liefert. Ganz ähnlich so aber verhält es sich mit der Kieselerde und den Kieselerde absondernden Thieren und Pflanzen. Die Menge der auf solche Weise abgeschiedenen Harttheile ist unter Umständen höchst beträchtlich. So verhält sich das Schalengewicht der Austern zu jenem der Thiere wie 2·78, ja wie 7·57 (und noch weit darüber) zu 1. Bischof hat dargelegt (Chem. und phys. Geologie, 2. Aufl. I, 585), dass jene Austern für ihre Schalen den Kalkgehalt von 385—587 Pfund oder 5·2—8·9 Cubikfuß Meerwasser verbrauchten, also das 27760—75714fache von ihrem Eigengewicht. Bischof hat aber auch berechnet, dass der vom Rhein während eines Jahres ins Meer ergossene gelöste kohlen saure Kalk hinreichen würde, um 332.539 solchen Austern das nöthige Baumaterial zu liefern.

Von Interesse für die uns beschäftigenden Fragen ist aber auch die Art des Baues der Gerüste und Schalen der verschiedenen kalkabsondernden Organismen. Der Vorgang bei der Ausscheidung des Kalkes bei den verschiedenen Thierclassen ist noch wenig

bekannt, und es ist vielfach kaum möglich, auch nur irgendwie sicher begründete Schlüsse aus den zu beobachtenden Erscheinungen auf die Vorgänge, die zu deren Erklärung dienen könnten, zu ziehen. Für die so niedrig organisierten Foraminiferen, Urthieren, aus einer gallertartigen Substanz ohne äußere Umhüllungshaut der Sarcode, bestehend, hat man angenommen (vgl. Bütschli in Bronn's Classen und Ordnungen des Thierreiches, 1. Abth., I, S. 125 ff.), dass in der äußeren Plasma- oder Sarcodeschichte infolge einer chemischen Umbildung ein Schalenhäutchen gebildet werde, dessen Weiterbildung dadurch erfolge, dass die Sarcode dasselbe umhüllt und durch Anlagerung an der äußeren Seite verstärkt, verdickt. Die zarten prismatischen Gebilde bei den durchbohrten (perforierten) Schalen (daher der Name Foraminiferen) sollen auf ausstrahlende Sarcodefädchen (Pseudopodien) zurückzuführen sein, welche sich gewissermaßen mit feinen Kalkröhrchen umkleiden sollen.

Bei den Korallen geht die Bildung des Skeletes im allgemeinen so vor sich, dass die jungen Korallenthier vorerst an ihrer Anheftungsstelle an der Basis Kalk ausscheiden, eine kalkige Basalscheibe bilden, von der dann die radialgestellten Scheidewände des Kelches sich aufbauen, die nach außen zu Ausbreitungen bilden, die durch Verschmelzung die Außenwand des Kelches, das Mauerblatt, gestalten. Bei vielen Korallen konnte beobachtet werden, dass sowohl die kalkigen Achsenskelete, als auch die verkalkten

Zellen gewisser Röhrenkorallen (z. B. der bekannten Orgelkoralle) dadurch gebildet werden, dass in den Weichtheilen eingelagerte, überaus formverschiedene und oft sehr zierliche, im allgemeinen nadelförmige Körperchen (Sclerodermiten), welche an die Nadeln gewisser Spongien erinnern, miteinander verschmelzen; freilich ist wieder bei anderen Formen keine Spur solcher Sclerodermiten zu beobachten. Wieder bei anderen (den Madreporariern) treten einzelne Kalkknötchen auf, die sich in Reihen aneinanderschließen und durch Fortsätze (Bälkchen) miteinander verwachsen, so dass dadurch sowohl die meist durchlöcherten Kelchwände, als auch die radialgestellten, gleichfalls vielfach porösen Sternleisten gebildet werden, wodurch ein eigenthümlich löcheriges schwammiges Gerüste entstehen kann.

Ein der Massenhaftigkeit des Auftretens wegen als Kalkbildner wichtiger Thierkreis ist jener der Stachelhäuter oder Echinodermen. Diese Thiere scheiden in ihrer Haut Kalk aus und bilden entweder isoliert bleibende, oft überaus zierlich gestaltete, gegitterte Täfelchen, sowie anker- und quierlerförmige Kalkstäbchen (bei den Seewalzen oder Holothurien), während bei den anderen sich Kalkscheibchen und Tafeln in der Haut bilden, die sich bei so vielen zu einem festen, den ganzen Körper umhüllenden Panzer verbinden, der von einer zarten, unverkalkten, dünnen, bewimperten Hautschichte überzogen ist. Außerdem sind bei vielen, vor allem bei den Seesternen und

Seeigeln, Kalkstacheln oder Kalkkeulen mit warzenförmigen Vorragungen des Panzers oder des Hautskeletes gelenkig verbunden. Die Harttheile eines lebenden Echinodermen bestehen aus einem sehr feinen und überaus zierlichen Netzwerk von Kalkspat, mit organischem Füllgewebe in den Kalkmaschen. Beim Versteinerungsprocesse wird diese organische Substanz durch Kalk ersetzt, der sich dem schon vorhandenen anfügt, so dass endlich sowohl Panzer als Stacheln ganz und gar aus Kalkspat bestehen und in vielen Fällen die organische Textur fast vollkommen verwischt werden kann. Jeder Stachel eines Seeigels, jedes Stielglied einer Seelilie, jedes Tafelstück des Panzers ist dann spaltbar wie unorganischer Kalkspat, ja jeder Stachel zeigt sich als ein Kalkspatindividuum, bei dem die Mittellinie mit der Achse eines Kalkspatrhomboeders zusammenfällt.

Nicht übergangen dürfen die „Moosthierchen“ oder Bryozoen werden. So winzig sie sind, so umkrusten sie doch ihre Leibeswandung mit Kalk, und da sie colonienweise theils in krustenförmigen Überzügen, theils in walzigen, theils strauchartig ästigen Genossenschaften auftreten, so bewirken sie wieder durch ihre Massenhaftigkeit Großes und werden geradezu Gesteinsbildner ersten Ranges. Sie wirken z. B. mit beim Aufbau unserer Leithakalke, deren mürbere Varietäten oft hauptsächlich aus solchen Thiergerüsten bestehen. Auch in älteren Gesteinen

spielen sie eine ähnliche Rolle und sind auch heute mit unter den Gesteinsbildnern thätig.

Über den Vorgang bei der Kalkausscheidung hat man bei Muschelthieren, und zwar vor allem bei Flussmuscheln (*Unio* und *Anodonta*), manche Beobachtungen angestellt, woraus hervorgeht, dass die zur Schalenbildung nöthigen Stoffe: Kalk und das eiweiß-ähnliche „Konchiolin“, in gelöster Form aus dem Innern gegen die Oberfläche des den Thierkörper umhüllenden „Mantels“ geführt werden, wo infolge der Zerlegung der gelösten Stoffe, vielleicht unter der Einwirkung der Kohlensäure des Wassers, Konchiolin und kohlenaurer Kalk abwechselnd in der Form von häutchenförmigen Plättchen zur Abscheidung kommen.

Die Beschaffenheit und der Bau der Mollusken-schalen, sowie das Verhalten derselben gegen Lösungsvorgänge hat W. v. Gümbel vor einiger Zeit einer genauen Untersuchung unterzogen. (Zeitschrift der Deutschen geol. Gesellschaft, 1884, 386—398.) Bis dahin war man G. Rose's Vorstellung gefolgt, auf Grund der Beobachtung, dass man die aus Kalkspat bestehenden Schalengebilde wohlerhalten findet, während die Aragonitschalen leichter zerstörbar sind, mürbe werden, ausgelaugt erscheinen und wohl auch ganz aufgelöst werden; so dass sie ihr früheres Vorhandensein oft nur in der Hohlform, im Abdrucke oder Steinkerne erkennen lassen; wobei man zu der Annahme geführt wird, dass es gerade die aufgelöste und im benachbarten Material wieder abgelagerte Schalen-

substanz sei, welche das Festwerden der Hohlformen (Abdrücke) und der die frühere Schalenhöhlung füllenden Sedimente als Steinkern bedingt.

An den Schalen der Muschelthiere unterscheidet man 1. eine faserige Lage: die Stäbchen-, Röhren- oder „Prismenschichte“, welche Gümbel nach Nathusius auch „Wabenschichte“ nennt, 2. die Perlmutter- und 3. die Porzellanschichte. Die erstere lässt wie die Bienenzellen nebeneinander stehende Röhren erkennen, die eigentlich sehr spitz, pyramidalgestaltet sind und aus einer häutigen und durch zarte Querwände zelligen Substanz bestehen. In die feinen Zellen hinein erfolgt die Einlagerung, Infiltration von Kalk. Die Perlmutter-schichte dagegen besteht aus überaus feinen, mit der Oberfläche annähernd parallelen Häutchen, der Raum zwischen denselben wird durch andere Häutchen zellig gekammert, und in diese Räume ist der Kalk eingelagert. Der der Perlmutter eigenthümliche Glanz ist auf diese feinblättrige Structur zurückzuführen, der irisierende Glanz, wie ihn z. B. die Schalenbruchstücke in dem bekannten Bleiberger Muschel-marmor aufweisen, ist offenbar auf ungemein feine Häutchen zurückzuführen, die also die Farben dünner Plättchen zeigen.

Die Porzellanschale oder, wie Gümbel vorschlägt, die Elfenbeinschichte ist nicht etwa structurlos wie Porzellan, sondern sie besteht, wie derselbe Autor auseinandersetzt, „aus sehr feinen pallisadenähnlichen, dichtgedrängt stehenden nadelchen- oder säulchenartigen Fäserchen“, die spitz auslaufen und gleichfalls

auf zellige Textur der thierischen Membrane zurückgeführt werden, in deren Räumen die Kalkeinlagerung vor sich gieng. Auch diese thierischen Häute, die man durch sorgfältige Behandlung mit verdünnten Säuren vollkommen entkalken kann, erweisen sich bei optischer Untersuchung als doppelt brechend und optisch zweiachsig, wengleich mit vielfach sich änderndem Winkel der beiden optischen Achsen. Die feinfaserige Elfenbeinschichte (besonders bei den Schnecken) ist die am leichtesten sich lösende, die Perlmutter-schichte löst sich viel schwieriger oder langsamer, einen Mittelwert weist nach der Lösungstabelle die Wabenschichte auf; alle diese Muschelschalensubstanzen aber sind viel leichter löslich als die krystallinischen Kalkcarbonate, seien sie nun krystallinisch körniger, oder faseriger, oder erdig kreidiger Kalkspat oder Aragonit. Die Löslichkeit des reinen Kalkspates aber beträgt im Vergleich mit der Löslichkeit der organischen Kalke nur ein Zwanzigstel bis ein Hundertstel dieser letzteren.

Wo die Wabenschichte mit ihren weiten Maschen und ihren derben, später durch infiltrierten Kalk ersetzten Membranen besonders stark entwickelt ist, bleibt sie am besten erhalten, und darauf ist wohl die prächtige Erhaltung derselben bei so vielen einmuskeligen Muscheln, so z. B. auch bei den Kreiderudisten, zurückzuführen.

Wir sehen auf diese Weise, dass die Meeresthiere den Kalk aufnehmen und ausscheiden, indem sie ihn zugleich mit thierischen Membranen gegen die Auflösung insolange schützen, als diese erhalten bleiben,

und erst nach Verwesung derselben im neugebildeten Gestein und besonders, wenn sie dem Meere entrückt sind, verfallen sie wieder der Auflösung, um so wieder ins Meer zu gelangen und neuen Generationen Baustoffe zu liefern. Einen solchen Schutz gewährt den Schalen auch die an der Schalenoberfläche lebender Schalthiere sich findende Epidermis, eine rein organische Substanz, welche die beiden gewöhnlich auftretenden Kalkschichten, die äußere Prismen- und die innere Perlmutterschichte, bedeckt.

Wo Beschädigungen dieser organischen Oberhaut eintreten, ist eine Zerstörung der Kalkschichten auch bei lebenden Organismen infolge der auflösenden Wirkung des kohlensäurehaltenden Wassers die natürliche Folge. Nur ganz nebenbei sei dabei erwähnt, dass nach Semper (Existenzbedingungen der Thiere, 1880, II, S. 19 ff.) häufig Bohrgänge feiner bohrender Pilze diese Oberhaut der Muschelschalen durchlöchern und dem Wasser Zutritt verschaffen.

Nicht zu unterschätzen ist auch die Mitwirkung gewisser pflanzlicher Organismen an der Kalkbildung, ja einige in marinen Ablagerungen überaus verbreitete Gesteine sind geradezu auf üppige Vegetationen kalkabscheidender, niedrig organisierter Pflanzen zurückzuführen. Es sind Algen aus der Ordnung der Chlorosporeen, vor allem die sogenannten Siphoneen, wohin die hie und da so massenhaft auftretenden Dactyloporiden und die zu den Florideen gehörigen Lithothamnien, die im Wiener Hauptbausteine, dem

„Leithakalke“, eine so wichtige Rolle spielen. Während die ersteren feste walzliche, mit Kammern versehene Kalkkörper bilden, sind die letzteren knollige oder strauchartig verästelte Körper, welche in förmlichen Rasen wuchern und derart reich an Kalkausscheidungen sind, dass sie gleichfalls steinhart erscheinen. Sie finden sich lebend an seichten Stellen nahe am Strande, auch auf Korallenriffen und bilden zuweilen zusammenhängende Lagen. Ihre pflanzliche Natur ist zuerst (1858) von Unger sicher erkannt worden, der ihren zelligen Bau in wohl gelungenen Dünnschliffen untersuchte. Neuerlich hat v. Gümbel eine ausführliche Studie (1872) über diese Gebilde geliefert und dabei eine größere Anzahl verschiedener Arten unterschieden. Es lassen sich förmlich gegliederte Zellenröhren erkennen, die, dicht nebeneinanderstehend, so gleichmäßig gebaut sind, dass sie einen lagenförmigen, geschichtet scheinenden Bau bedingen. Während bei lebenden Formen, wie man sie bei Messina, Mauritius und an vielen anderen Orten beobachten kann, in den tonnenförmigen, von kalkreichen Wänden begrenzten Zellen, die durch Röhrchen miteinander in Verbindung stehen, einen grünen Zellinhalt erkennt, sind bei den fossilen auch die Zellen von Kalksubstanz erfüllt und somit das ganze Gebilde verkalkt.

Lassen Sie uns nun nach Vorführung dieser Beispiele von Kalkbildung bei Organismen noch die Stätten ins Auge fassen, wo vor allem diese Organismen leben und durch die Anhäufung ihrer Hartgebilde gesteins-

bildend auftreten. Zum Theile könnte ich mich dabei auf einen von mir vor nun schon vielen Jahren in unserem Vereine gehaltenen Vortrag berufen (16. December 1874), es ist dies aber schon so lange her und sind so viele neue Thatsachen seither dazugekommen, dass ich es vorziehe, in Kürze das Wichtigste zusammenzufassen.

Flora und Fauna des Meeres hängen von einer ganzen Reihe von Factoren ab: erstere vor allem von dem Eindringen des Lichtes, das thierische Leben aber außerdem von dem Betrage des Wasserdruckes, der sich in den Tiefsee-Abgründen bis auf 800 Atmosphären steigert. Die vorhin erwähnten Verhältnisse: die Überhandnahme von freier Kohlensäure in den Tiefen, die Temperaturverhältnisse, Ruhe oder Bewegung des Meerwassers, der Grad der Reinheit desselben u. s. w. wirken jedoch gleichfalls bestimmend ein auf die Vertheilung der Lebewesen. Groß ist die Summe der erkannten Thatsachen, welche uns heute in dieser Beziehung zugebote stehen, und überraschend anders gestalten sich unsere Vorstellungen des Tiefseelebens im Vergleich mit jenen, welche Forbes ausgesprochen hat.

Dieser unterschied vor mehr als vierzig Jahren vier Tiefseezonen des organischen Lebens:

1. Die Litoralzone zwischen den Grenzen von Ebbe und Flut.

2. Die Laminarienzone vom untersten Ebbestande bis zu 15 Faden Tiefe, die Region der

„unterseeischen Wiesen und Wälder“, mit der größten Mannigfaltigkeit pflanzlichen und thierischen Lebens. (Sie erstreckt sich eigentlich bis zu 30 Faden Tiefe.)

3. Die Korallinenzone bis zu 50 Faden Tiefe; die Zone der korallenähnlichen Milleporiden, der Hydroiden und Bryozoen (Moosthierchen). In dieser Tiefenzone liegen auch die Fischereibänke.

4. Die Zone der Tiefseekorallen, tiefer als 50 Faden, welche in 270 Faden ihre unterste Grenze und damit auch die unterste Grenze organischen Lebens überhaupt erreichen sollte. Die größten Tiefen aber sollten jeglichen Lebens entbehren. Forbes meinte, dass diese Zonen für alle Meere im großen und ganzen gleich angenommen werden könnten.

Heute wissen wir, dass es auch in großer Entfernung von den Küsten, in den Tiefen weit über 2000 Faden, ein verhältnismäßig nicht unbedeutendes thierisches Leben gibt, und zwar sowohl am Grunde des Meeres, als auch in den verschiedenen Tiefen des Wassers. Herr Murray, einer der Gelehrten der „Challenger“-Expedition, war es, der zuerst in eigens dazu eingerichteten Schleppnetzen in verschiedenen Meerestiefen nach den Lebewesen fahndete, und auch der amerikanische Capitän Sigsbee hat neuerdings solche Aufsammlungen vorgenommen. Letzterer hat dabei gefunden, dass bei Tage die an der Oberfläche schwärmenden Thiere (Radiolarien, Quallen, Salpen und die Crustaceenbrut) sich ganz gleichmäßig bis zu 50 Faden Tiefe erstrecken, dass aber in größeren

Tiefen das Meer vollkommen leblos erschien. Diese Thatsache darf durchaus nicht missverstanden werden. Es gibt nämlich im Meere eine ungeheuer große Zahl von Thieren, welche nur nachts an die Oberfläche kommen, von diesen aber wurde von Sigsbee kein einziges aufgefischt.

Wir können nach unserem heutigen Wissen die marine Thierwelt in zwei Hauptgruppen eintheilen: in die im Seichtwasser lebenden Küsten- oder Strandthiere, welche die „litorale Fauna“ bilden, und in die Thiere der hohen See oder die pelagischen Thierformen, deren Gesammtheit wir als die pelagische Fauna bezeichnen können. Die pelagische Fauna umschließt wieder zweierlei Formen, erstens solche, welche auf die oberen Regionen der Hochsee beschränkt sind, hierher zählen beispielsweise alle von Sigsbee gefischten Arten und jene, welche nur nachts bei ganz ruhiger See an die Oberfläche kommen, bei Tag dagegen in den Tiefseeegründen leben. Die letzteren sind die eigentlichen Tiefseethiere, welche wir mit Th. Fuchs¹⁾ auch als Thiere der Dunkelheit oder die „Dunkelthiere“ bezeichnen könnten.

Th. Fuchs hat sich bemüht, auf Grund der bis nun bekannt gewordenen Resultate der Tiefsee-Untersuchungen die Ursache aufzufinden des in allen Theilen so scharf ausgeprägten Gegensatzes der beiden

¹⁾ Vgl. Verhandl. d. k. k. geol. Reichsanstalt 1882, Nr. 4, 5 und 8, sowie 1883, Nr. 2.

Hauptgruppen der Tiefseefauna und ist dabei zu dem Resultate gekommen, dass nicht die Temperaturverhältnisse das hauptsächlich Maßgebende seien, sondern dass die Grenze des Lichteinflusses in erster Linie bestimmend einwirke, so dass man die bei Tag nahe der Oberfläche des Meeres anzutreffenden pelagischen Thierformen, ganz ebenso wie die Litoralthiere, in ihrer Gesamtheit als die „Fauna des Lichtes“ bezeichnen könne, im Gegensatz zu den eigentlichsten Tiefseethieren oder der „Fauna der Dunkelheit“.

In Bezug auf das Eindringen des Lichtes in das Meerwasser haben wir bis nun nur wenige wissenschaftlich sichergestellte Erfahrungen. Ganz in Kürze seien die wichtigsten Resultate der über diese wichtige Frage angestellten Versuche hier angeführt.

Lorenz (1863) nahm, auf Grund von Lichtreflexbestimmungen des Meeresgrundes im Quarnerischen Golfe, die untere Lichtgrenze mit 30⁰ an.

Secchi (1864) beobachtete eine große weiße Scheibe und fand, dass sie in 42 Meter Tiefe verschwand, woraus er die beiläufige untere Lichtgrenze mit 42⁰ annahm.

Bouguer kam zu derselben Annahme.

Pourtalès dagegen fand als unterste Lichtgrenze 50⁰.

Genauere Untersuchungen über das Eindringen des Lichtes in das Wasser nahm Forel im Genfersee vor, indem er nachts empfindliches photographisches Papier in verschiedene Tiefen versenkte und in der

nächster Nacht wieder heraufholte. Er fand, dass sich die zersetzende Kraft des Lichtes bis in beiläufig 200 Faden Tiefe erstreckt. Dass schwache Lichtmengen in so große Tiefen dringen können, hätte übrigens schon der Nachweis von lebenden Lithothamnien (der erwärmten kalkabsondernden Algen) in Tiefen von 150 Faden (von Carpenter im Mittelmeer constatirt) beweisen können. Auch spectroscopische Untersuchungen wurden (von Secchi) ausgeführt und dadurch gefunden, dass zuerst die rothen und gelben und zuletzt die blauen und violetten Strahlen des Spectrums verschwinden, dass also die letzteren am tiefsten eindringen.

Vom Eindringen des Lichtes hängt nun aber das Pflanzenleben des Meeres ab und von diesem wieder die Mannigfaltigkeit des thierischen Lebens, und es werden dadurch eine Reihe von Erscheinungen in Bezug auf das Auftreten und die Vertheilung der Lebewesen ihre Erklärung finden. In neuester Zeit hat wie erwähnt besonders Herr Director Th. Fuchs auf die Bedeutung des Lichtes für die Erklärung vieler Fragen hingewiesen, worauf wir noch zurückkommen werden.

Dass auch andere physikalische Verhältnisse auf das Thierleben bestimmend einwirken, kann übrigens nicht geleugnet werden, und liefert dafür beispielsweise die Thatsache des Gegensatzes der Faunen im Bereiche der warmen und kalten Räume in gleicher Tiefe, zwischen den Faröer und Schottland, einen immerhin erwähnenswerten Beweis.

Was die Litoralfauna anbelangt, so ist dieselbe der Hauptsache nach auf die obersten 30 Faden der Meerestiefen beschränkt.

Den größten Formenreichthum an Litoralthieren, eine geradezu wundersame Mannigfaltigkeit, weisen die Korallenriffe auf. Die riffbauenden Korallen sind aber auf eine nur ganz geringe Meerestiefe beschränkt, sie wachsen ja nur üppig zwischen der Ebbe-grenze und etwa 8 Faden Tiefe, während ihre unterste Grenze bei etwa 20 Faden Tiefe liegt. Ihre Baue bilden den Aufenthaltsort für Fische, Krebse, Schnecken und Muschelthieren aller Art, für Seeigel, Bryozoen u. s. w., so dass man mit Th. Fuchs ganz mit Recht sagen kann: „Denkt man sich die Korallriffe mit der charakteristischen Bevölkerung verschwunden, so würde der Indische und Pacifiche Ocean mit einem Schlage die ganze Pracht seiner Thierwelt verlieren, und wir würden an deren Stelle eine verhältnismäßig arme und unansehnliche Fauna vor uns haben.“ In 8—10 Faden Tiefe findet man weiters an den sonst geeigneten Stellen die Anhäufungen von Muscheln sehr verschiedener Art: Austern, Perlmuscheln, Kamm-muscheln u. s. w., die Muschelbänke, welche bei 20 Faden Tiefe ihre untere Grenze haben und gleich-falls zahlreiche andere Seethiere, vor allen Seesterne und Würmer, anziehen.

Endlich beherbergen auch die Tangwiesen und Tangwälder einen überaus großen Reichthum von Thieren, deren Existenzbedingungen dadurch bedingt.

werden, dass sie sich entweder von den Pflanzenstoffen direct, oder aber von den Pflanzenfressern nähren, oder ihre Jugend in den Tangdickichten verbringen. Diese Meergewächse reichen aber wieder nur bis in etwa 30 Faden Tiefe.

In der gemäßigten Zone findet sich auch in größeren Tiefen immer noch ein, wenn auch im Verhältnis zur oberen Region verarmtes Thierleben, während in den tropischen Meeren unterhalb 30 Faden Tiefe eine überaus armbevölkerte, sterile Region folgt, die bis circa 80—90 Faden Tiefe reicht, wo sich dann wieder ein reicheres Leben einstellt, vertreten durch die verschiedenen Typen der Tiefseefauna. In den gemäßigten Meeren erscheinen deren erste Spuren schon in etwa 50 Faden Tiefe, also in jener Region, bis zu welcher das Licht noch merklich einzudringen vermag, während unterhalb das Reich der „Dunkelthiere“ oder die eigentliche Tiefseefauna beginnt. Es findet auf diese Art ein allmählicher Übergang statt.

Doch treten die Thierformen der tiefen See, die Dunkelthiere, unter Umständen auch in geringeren Tiefen auf, wenn daselbst Dunkelheit herrscht. So findet man sie beispielsweise in den Höhlenräumen der Korallriffe oder im Innern von Spongien. Das letztere wurde in neuerer Zeit von Monterosato an den afrikanischen Küsten beobachtet, der eine große Zahl kleiner, sonst in Tiefen bis gegen 100 Faden auftretender Conchylien in Spongien der Sublitoralzone angetroffen hat.

In Bezug auf die pelagischen Lebewesen wurde des wichtigen Gegensatzes zwischen den oberflächlich und den in größeren Tiefen lebenden Thierformen schon gedacht; hier sei nur noch erwähnt, dass auch auf hoher See eine an die Litoralfauna erinnernde Thiergesellschaft auf den schwimmenden Tangwiesen, den Sargassobänken lebt. Es sind dies Nacktschnecken und kleine, meist pflanzenfressende Schalenschnecken, Krebse, Moosthierchen und gewisse Fische.

Außer den Sargassobänken haben wir auf hoher See, besonders aber in den polaren Meeren, noch die in den Oberflächenregionen sich findenden Diatomeen (Stückeltange), während die Oscillarien- (Gallertalgen-) Vegetationen in den warmen Meeren anzuführen sind, welche als Nahrungsstoff für die pelagische Thierwelt von größter Wichtigkeit sind, indem sie theils für die beständige, theils für die nur nachts zur Oberfläche aufsteigende, in zahllosen Herden auftretende Bevölkerung die Weidegründe bilden.

Was die Beschaffenheit des Meeresgrundes, in Bezug auf die daselbst erfolgenden Absätze, Sedimente, anbelangt, so muss vor allem hervorgehoben werden, dass dieselben, mit Ausnahme der Seichtwasser- und Strandregionen, bis nur wenig über die 100 Fadencurve hinaus, in der Form von feinem Schlamm erfolgen. Diese Schlammablagerungen der Hochsee sind auf weite Strecken hin ganz gleichmäßig verbreitet und können in mehrere, ihrer Substanz nach verschiedene Arten unterschieden werden. Eine

Art ist der durch Kalkreichthum ausgezeichnete graue und zähe „Kalkschlamm“, der seinen Kalkreichthum den Unmassen von Schälén winziger Urthierchen verdankt, unter welchen die Schalen der kugelig-zelligen *Globigerina bulloides* (etwa $\frac{1}{2}$ mm im Durchmesser) die wichtigste Rolle spielen, weshalb dieser Kalkschlamm auch gewöhnlich als der Globigerinenschlamm bezeichnet wird. Neben den Globigerinen findet man noch sehr häufig die fein punktierten Kugeln der *Orbulina universa* und andere zellige Foraminiferengehäuse. Außerdem entdeckt man bei mikroskopischer Untersuchung der Schlammproben unzählige kleine rundliche oder napfförmige Kalkscheibchen ($\frac{1}{100}$ mm im Durchmesser), die sogenannten Coccolithen (Kernsteinchen), Discolithen (Scheibensteinchen) und Cyatholithen (Napfsteinchen). Die erstgenannten finden sich nicht selten in kugelförmigen Gesellschaften vereinigt, welche man Kernkugeln oder Coccosphären genannt hat.

Was die Natur dieser Kalkscheibchenbildungen anbelangt, so ist man darüber auch heute noch nicht im Klaren.

Dieser Globigerinenschlamm bedeckt beispielsweise weitaus den größten Theil des nordatlantischen Beckens, in Tiefen zwischen 500 und 2400 Faden, doch hat man ihn auch an den Tiefen des südlichen Indischen Oceans, sowie im großen Ocean in derselben Ausbildung angetroffen. Man bezeichnet diesen Globigerinenschlamm sehr häufig auch als kreideähnlich,

weil thatsächlich eine überaus große und auffallende Übereinstimmung zwischen dem Kalkschlamm der heutigen Oceanabgründe und jenen Ablagerungen besteht, welche wir als die Schreibkreide zu bezeichnen pflegen. Aber auch manche ältere Kalksteine enthalten Formen der heutigen Kreideschlammregionen, wie dies Prof. Gümbel in München auf das schönste nachgewiesen hat. Schon Huxley hat den Globigerinenschlamm geradezu als die „moderne Kreide“ bezeichnet.

Sehr weit verbreitet findet sich auch ein kalkarmer grauer Schlamm mit wenig oder ohne Kalkschälchen.

In den großen und größten Meerestiefen, in den tiefsten Depressionen des Meeresbodens, fand man aber einen rothen Thonschlamm (*Red clay*), der durch seine Armuth an Überresten organischen Lebens auffällt, so dass man ihn geradezu als azoisch bezeichnen konnte. Der *Red clay* tritt in Tiefen bedeutender als 2500 Faden auf und wurde auch aus den tiefsten bis nun angetroffenen Abgründen des Meeres zutage gebracht. Seine Entstehung dürfte auf die, zum Theil wenigstens infolge des so ungeheuren Wasserdruckes, geänderten chemisch-physikalischen Verhältnisse zurückzuführen sein. Es geht aus den darüber angestellten Untersuchungen hervor, dass in diesen großen Tiefen alle Kalktheilchen aufgelöst werden und eine große Zahl mineralischer Neubildungen vor sich gehen. Eine sicher erkannte That-

sache in dieser Beziehung ist der auffallend große Reichthum dieser Tiefen an freier Kohlensäure. Diese Umstände erschweren den Lebensprocess der Thiere oder machen ihn selbst unmöglich. Der Globigerinenschlamm, die wichtigste Nahrungsquelle für die Lebewesen der Tiefen, wird aufgelöst und zerstört, und aus den unlöslichen Theilen des Globigerinenschlammes scheint sich der rothe Thon zu bilden.

Was die Foraminiferen anbelangt, so leben wohl die meisten Arten am Meeresboden, doch gibt es nicht wenige, welche auch frei im Meere schwimmend¹⁾ auf- und niedersteigen, und gerade diese sind die in ungeheuren Massen auftretenden (z. B. die schon genannten Gattungen *Globigerina*, *Orbulina* und viele andere). Vor allem ihre Schalen machen, wie schon angeführt wurde, einen wesentlichen Bestandtheil des kalkreichen Tiefseeschlammes aus. Die Menge der daraus resultierenden Sedimente ist an manchen Punkten eine ganz ungeheure. (Von den am Meeresgrunde lebenden Foraminiferen hat uns Pourtalès, wie nur nebenbei erwähnt werden soll, gelehrt, dass gewisse Arten in gewissen bestimmten Meerestiefen am liebsten vorkommen, so dass von 100—60 Faden Globigerinen vorherrschen, in 100 Faden Tiefe machen sie die Hälfte der Bodenmaterialien aus, von 100 bis

¹⁾ Freischwimmend treten aber auch die Radiolarien (Kieselgerüste ausscheidende Urthiere) auf neben vielen anderen nackten und schalentragenden pelagischen Formen.

gegen 35 Faden Tiefe finden sich die mit einem schneidigen Kiele versehenen Cristellarien und die Marginulinen, von 70 bis 25 Faden die *Truncatulina adversa*, von 30 Faden bis in die Nähe der dem Wellenschlage noch ausgesetzten Tiefe aber nur noch selten Milio-liden und zu oberst endlich nur vereinzelt sehr kleine *Polystomella*-Arten.)

Von den in großen Tiefen, am Seegrunde der hohen See, lebenden Thierformen sind zu erwähnen: die kleine Stöckchen bildenden oder in einzelnen Kelchen lebenden Tiefseekorallen. Außerdem die Brachiopoden, die zweischaligen Muschelthiere und die Gehäuseschnecken. Was diese schalen-tragenden Weichthiere anbelangt, so hat Dall neuerlichst für die von der amerikanischen Expedition gesammelten tropischen Formen gefunden, dass sie zunächst in Tiefen von 100—500 Faden vorkommen, dass aber auch 13 Procent davon bis in die größten Tiefen reichen, wo sie neben weniger häufigen borealen, also nordischen Arten sich vorfinden. Die Glasschwämme, Seelilien, Seeigel und Seesterne, — Ophiuriden und Astrophytiden wurden bis nun allein aus den Ergebnissen der „Challenger“-Expedition in nicht weniger als 96 Arten beschrieben — sowie gewisse Borsten- und Röhrenwürmer bilden weitere hochwichtige Elemente der Tiefseebodenfauna.

In die größten Tiefen reichen die Seeigelgattungen: *Echinothuria*, *Powrtalesia*, *Ananchytes*, außerdem gewisse Formen der Seegurken oder Holothurien, nämlich

Elasmopodien, von Seelilien Apicrinoiden und außerdem auch noch die Glasschwämme. Die in mittleren Seetiefen vorkommenden Formen finden sich oft in so großer Menge, dass sie unter Umständen mächtige Sedimentanhäufungen zur Folge haben können.

Nebenbei bemerkt, hat auf Grund dieser Massenhaftigkeit der Sedimentablagerungen der schon genannte „Challenger“-Zoologe John Murray eine neue Hypothese über die Entstehungsgeschichte der Korallenriffe der von Darwin ausgesprochenen gegenübergestellt. Während nämlich Darwin die Korallenriffe auf Grund der eigenthümlichen, schon erwähnten, an beschränkte Tiefen gebundenen Lebensweise der riffbauenden Korallen, durch ein allmähliches Versinken insularer oder selbst continentaler Länder erweisen zu können glaubte, nimmt Murray an, dass die auf Erhöhungen etwa vulcanischer Natur sich ansammelnden Massensedimente unter sonst günstigen Verhältnissen sich in solchem Maße anzuheufen vermöchten, dass dieselben bis in die dem Wachstum von Korallen günstigen Regionen empor tauchen könnten. Es ist dies eine sehr plausibel erscheinende Ansicht.

Auch Semper hat (in seinem Werke über die Existenzbedingungen der Thiere, 1880, II, S. 39 ff.) die Darwin'sche, von Dana vertretene Theorie kritisch betrachtet und kam auf Grund seiner an den Palaosinseln (7° n. Br., $134^{\circ}30'$ östlich von Greenwich) angestellten eingehenden Beobachtungen zu der Überzeugung,

dass nicht Senkungs-, sondern Hebungsvorgänge stattgefunden haben müssen. Den Vorgang denkt er sich hiebei etwa folgendermaßen vollzogen: Zuerst wurde (S. 91) während der Hebung des Meeresbodens — er denkt dabei an die Verhältnisse am Pourtalès-Plateau südlich von Florida — nur der Grund für die Tiefseekorallen hergestellt. Sowie dieser in die Region der riffbauenden Korallen gelange, würden diese, je nach der Beeinflussung durch die sie treffenden Strömungen des Meeres, entweder senkrecht emporwachsen oder flächenförmig sich ausbreiten. Die senkrechten Abstürze betrachtet er somit als eine Folge der an solchen Strecken anprallenden Fluten. Die höchsten Theile der Korallenstöcke würden infolge der Hebungsvorgänge an die Oberfläche gelangen und absterben. In der That beobachtete Semper am zutage tretenden Fuße der Korallenklippen der Palaos Tiefseeformen und darüber nur eine dünne Lage der Seichtwasserkorallen.

Zuletzt hat Guppy (Salomoninseln, London 1887) eine Darstellung der Frage über den Aufbau der Korallriffe und der an denselben sich vollziehenden neuen Kalksteinbildungen gegeben. Er unterscheidet unter anderem: 1. echte Korallenkalksteine, die fast ausschließlich aus Stockkorallen bestehen; 2. erhärteten Korallenschlamm und Korallensand aus kroidigen Absätzen mit hie und da eingebetteten Korallen; 3 sichere Tiefseeabsätze, theils aus Absätzen vulcanischen Ursprunges (vulcanischer Staub), theils aus Foraminiferen,

Mollusken und anderen Meerthierschalenresten bestehende, mürbe Gesteine; 4. feste Foraminiferenkalksteine mit Resten von pelagischen Tiefseeorganismen. Schon darin lägen sichere Anzeichen von Hebungsvorgängen des die Korallenbauten tragenden Untergrundes. In etwa 10 m Tiefe beginne der steile Absturz, an diesem leben die Korallen und bauen am Riffe, während sich unterhalb dieses Kranzes von lebenden Korallenstöcken der Schutt anhäuft, der infolge des steten Anpralles der Wogen sich bildet. Ist die Böschung gering, so kann sich außerhalb des ersten Kranzes auch ein zweiter, als ein zweiter Riffwall, bilden. Mag nun die eine oder andere Anschauung richtig sein, großartig sind die Voraussetzungen beider, seien es nun Senkungsvorgänge, wie Dana-Darwin, seien es Hebungen, wie Murray-Buchanan-Semper-Guppy annehmen, sicherlich aber gehen neubildende und zerstörende Prozesse Hand in Hand. Hier sind die Verhältnisse dem Wachsthum günstig: neue Korallenbaue entstehen, dort verfallen andere unter dem Anpralle der Wogen der Zerstörung, um Schutthänge entstehen zu lassen. Gesteinsbildung wird aber so und so gefördert.

Auf diese Weise glaube ich Ihnen in gedrängter Kürze die wichtigsten Momente vorgeführt zu haben, die für Kalkgesteinsneubildung von Wichtigkeit sind, und wir haben erkannt, dass es in erster Linie die dem organischen Leben günstigen Regionen des Meeres sind, wo sich die zu Kalksteinen werdenden Massen am

raschesten anhäufen werden, und dass es überhaupt organische Prozesse in erster Linie sind, welche zur Neubildung von Kalksteinen Veranlassung geben. Darzuthun, dass solche auf organische Bildung zurückzuführende Kalke durch spätere Einwirkungen auch in krystallinisch-körnige Kalke, ähnlich etwa dem Carraramarmor, umgewandelt werden können, das würde uns zu weit führen, dass es aber der Fall ist, darüber besteht heute kein Zweifel mehr.

Nachschrift

zum Vortrage:

„Die Entstehung der Kalksteine“.

Auf Seite 276 dieses Bandes bemerkte ich bei der Frage, ob die Meeresthiere auch den in so großer Menge im Meerwasser vorhandenen schwefelsauren Kalk zu zersetzen vermöchten, die betreffenden Versuche nur ganz kurz und kam zu dem Schlusse, dass kein Vorgang bekannt sei, der uns die Umwandlung von Kalksulfat in Kalkcarbonat durch den Lebensprocess der Organismen verfolgen ließe. Da nun gerade aus neuester Zeit Versuche, auf diesem Wege zur Erklärung der Bildung des Kalkcarbonates zu gelangen, mehrfach vorliegen, möchte ich doch, schon des hohen Interesses dieser Frage wegen, mit einigen Worten auf dieselbe eingehen.

Dass die Thiere des Meeres den Gipsgehalt desselben benützen, hat wohl niemand bestimmter behauptet als G. H. O. Volger („Erde und Ewigkeit“, 1857, S. 372). Sie nehmen Salz auf, das Natrium desselben bildet mit Kohlensäure Natriumcarbonat und dieses tauscht mit dem Gips die Säure: es bildet sich Glaubersalz und kohlensaurer Kalk. Aus dem ersteren entsteht dann wieder mit Chormagnesium Bittersalz und Chlornatrium. Auch Chlorammonium (Salmiak)

entsteht im Stoffumsatze, „meistens erst nach Ausscheidung aus dem thierischen Leibe“.

Forchhammer (man vergleiche Bischof, Chemische und physikalische Geologie, 1863, I, S. 585) sprach sich (mündlich) dahin aus, dass Muschelthiere den schwefelsauren Kalk im Meerwasser durch kohlen-saures Ammoniak, das sie in ihrem Organismus bilden, zersetzen könnten. Bischof selbst, der den Kalk der Kalkschalen auf den kohlen-sauren Kalk des Meerwassers zurückführt, meint, auf die Thatsache der Zersetzung des Kalksulfates durch organische Materie gestützt, es könnte Schwefelcalcium und aus diesem durch Kohlensäure Kalkcarbonat gebildet werden. Mohr (Geschichte der Erde, 1866, S. 46) weist auf die Thätigkeit der Pflanzen hin, welche Schwefelsäure zersetzen und schwefelhaltiges Albumin bilden können. Dieses gelangt mit dem Kalk der Pflanzen in den Thierkörper, den es aufbauen hilft. Aus den Kohlehydraten wird Kohlensäure, die mit dem Kalke der Aschenbestandtheile der Pflanzen Kalkcarbonat und mit dem albuminhältigen Conchyolin die Schalen bildet.

Ochsenius (Neues Jahrbuch für Mineralogie etc., 1890, I, S. 53) meint, dass die Schwierigkeit, auf solche Weise die enorme Überproduction mariner Kalksedimente zu erklären, leicht zu beheben sei. Die Zersetzung des Gipses vollziehe sich „einfach“ auf einem Umwege durch Vermittlung des Chlornatriums: aus Chlornatrium entstehe durch Kohlensäure Soda und freie Salzsäure. (In der Mundhöhle der Muschelthiere und

auch im Magen des thierischen und menschlichen Körpers nachgewiesen.) Aus Soda und Gips entstehe dann Glaubersalz und kohlenaurer Kalk. Diese Vorstellung stimmt daher recht gut mit jener Volger's überein.

Neuerlichst (am 21. April 1890) hat weiters Karl v. Than in der ungarischen Akademie der Wissenschaften eine Arbeit von Leo Liebermann zur Vorlage gebracht, worin der Nachweis erbracht wird, dass Alkalisalze wie Kochsalz, Natriumsulfat, Natriumnitrat und Jodkalium thatsächlich durch Kohlensäure zersetzt werden, wobei die betreffenden Säuren frei werden (man vergleiche Mathematisch-naturwissenschaftliche Berichte aus Ungarn, VIII (1891), S. 326—333 und Chemiker-Zeitung, 1890, S. 594). Auf die Wichtigkeit dieses Vorganges für gewisse physiologische Prozesse wird dabei hingewiesen, besonders auf die Erklärung der Bildung der freien Salzsäure des Magensaftes.

Auch G. Steinmann hat „über Schalen- und Kalksteinbildung“ neue Ansichten vorgetragen (Berichte der naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg i. B., IV, 15. Mai 1889, S. 288—293), indem er auf die Eigenschaft der alkalisch reagierenden Eiweißsubstanz hinweist, aus Lösungen von Kalksalzen (z. B. Kalksulfat und Chlorcalcium) Kalkcarbonat zu fällen, und zwar ohne Zusatz von kohlensaurem Alkali. Beim Versuche entstehen kugelförmige Körperchen und eine conchyolinartige Substanz, was an die (S. 282) geschilderte Bildung der Muschelschalen erinnert. Auf ähnliche Weise bauen sich auch die Foraminiferenschalen und das

Kalkskelet der Korallen aus Kalkelementen auf, welche aber unter Umständen auch abgestoßen werden können, ohne zu Schalenbildung verwendet zu werden (Kalkschlamm-Bildung!). Professor Baumann in Freiburg hat diese Eigenschaft des Eiweißes zu erklären gesucht, indem er auf das bei den so leicht eintretenden Zersetzungen (Gährungsvorgängen) sich bildende kohlen-saure Ammoniak hinweist. Ochsenius erinnert bei Erwähnung der Steinmann'schen Auffassung an den Ammoniak-Soda-Process (man vergleiche Schriften des Vereines zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse, XXIX. Bd.: Benedikt, Wandlungen der chemischen Industrie, S. 329) und meint, wie bei diesem entstände aus Ammoniak, Kohlensäure, Wasser und Chlornatrium Salmiak (Chlorammonium) und Natrium-Bicarbonat, welches letzteres mit Gips kohlen-sauren Kalk und Glaubersalz bilde. Unionen, Paludinen u. dgl. zum Theil sehr dickschalige Süßwassermollusken müssten dann aber ihre Schalen, da ihnen nur gar wenig Chlornatrium und Gipslösung zur Verfügung steht, auf andere Weise herstellen als die Meeresthiere, was nicht sehr wahrscheinlich, freilich steht ihnen auch Kalkcarbonat in grosser Menge zur Verfügung.

Aus den gegebenen Andeutungen geht hervor, dass die Frage, ob die Thiere des Meeres ihre Schalen und Skelettheile aus Gips herstellen, in reger Behandlung steht, dass aber eine sichere Lösung noch aussteht und zu erhoffen bleibt.
