

Die Bildung der germanischen Trias, eine petrogenetische Studie.

Von Professor Dr. **E. Fraas.**

Gedruckt im Januar 1899.

Einleitung.

Faciesdifferenzierung, d. h. die Verschiedenartigkeit ein und desselben geologischen Horizontes sowohl bezüglich seiner Gesteinsausbildung, wie der in den Schichten enthaltenen Versteinerungen, welche ihrerseits die Fauna und Flora der damaligen Zeiten darstellen, lässt sich in allen Formationen der Erde beobachten und das Studium derselben gehört zu den interessantesten Aufgaben, welche sich der Geologe gestellt hat. Erst die Erkenntnis der Facies giebt uns Aufschluss über die Lebensbedingungen und die Verhältnisse in einer geologischen Periode und mit vollem Recht ist deshalb die Geologie von dem Studium der Stratigraphie, d. h. der Aufeinanderfolge und Gliederung der Schichten zu der viel schwierigeren, aber auch lohnenderen Aufgabe der faciiellen Unterscheidungen übergegangen. Wir können schon heute, obgleich wir noch ganz am Anfange dieser Untersuchungen stehen, sagen, dass die Schwierigkeiten sich in demselben Verhältnisse mehren, je genauer wir eine Formation untersuchen.

Dass die Ausbildung einer Formation nicht über die ganze Erde hin eine gleichmässige sein kann, ist ja selbstverständlich, denn sie würde eine vollständige Gleichmässigkeit aller Lebensbedingungen, aller Zufuhr- und Wasserverhältnisse etc. voraussetzen. Ein Blick auf die Jetztwelt aber zeigt uns, wie mannigfach selbst innerhalb kleiner Bezirke die Bedingungen sind, welche bei der Bildung der Formationen in Frage kommen. Wir kommen zu dem Schlusse, dass die Möglichkeit, wie ein geologischer Horizont auf weite Strecken sich vollständig gleichbleiben konnte, viel schwieriger auszudenken und zu erklären ist, als die Erscheinung, dass ein mannigfacher

Wechsel und Verschiedenheiten der Gesteinsbeschaffenheit, wie der Tier- und Pflanzenwelt selbst innerhalb kurzer räumlicher Entfernungen eintrat. Letzteres ist das gewöhnliche und hat nichts Befremdendes, während das erstere Bedingungen voraussetzt, welche wir heutzutage niemals oder doch nur sehr selten auf unserer Erde beobachten. Wir können aber trotzdem in unseren Formationen sogenannte normale Ausbildungen festhalten, worunter wir zu verstehen geben, dass der Charakter sowohl in der Gesteinsbeschaffenheit, wie in der Fauna und Flora über den grössten Teil der Erde in derselben Weise anhält, ja es ist wunderbar, wie sich oft kleine Merkmale oder einzelne Leitfossilien fast über die ganze Erde verbreitet finden. Einen derartigen Kosmopolitismus finden wir heutzutage nur äusserst selten in der Fauna und der Flora¹, die Geologie lehrt uns aber, dass derselbe mit dem geologischen Alter einer Periode immer häufiger und ausgeprägter wird. Der Hauptgrund ist ohne Zweifel in dem allmählichen Schwunde unserer heute so scharf ausgeprägten klimatischen Zonen zu suchen, denn Hand in Hand mit der Ausbildung derselben nimmt auch die Differenzierung der Facies zu. Es kommt aber noch ein weiterer Umstand als Erklärung hinzu, nämlich der, dass wir aus den alten Perioden fast durchgehend nur Meeresbildungen vorfinden, die ja an sich schon eine einheitliche Bildungsweise haben und in welchen sich der kosmopolitische Charakter am leichtesten ausprägen kann. Sogenannte normale Ausbildungen einer Formation sind also immer Meeresablagerungen und zwar oceanische Bildungen, denn nur in diesen ist der Kosmopolitismus, den wir von der normalen Facies verlangen, ermöglicht. Dass jederzeit neben diesen oceanischen Bildungen auch anderweitige Ablagerungen, sei es in Binnenseen oder sonstwie innerhalb der damaligen Kontinente vor sich gingen, ist sicher anzunehmen, aber diese sind uns aus den älteren Formationen seltener erhalten, da sie am leichtesten späteren Abwaschungen zum Opfer fielen. Teilweise sind sie zwar noch vorhanden, aber von uns noch zu wenig erforscht und erkannt.

Ich habe diese kurze Ausführung vorausgeschickt, um einerseits mit dem Gedanken vertraut zu machen, dass es während der Periode der Trias in den verschiedenen Gebieten unserer Erde auch zu derselben Zeit ganz verschiedene Ablagerungen, sowohl bezüglich

¹ Das einzige aber auch beste Leitfossil unserer Jetztzeit ist natürlich der Mensch und seine Artefakte, sowie die Haustiere und einzelne mit dem Menschen gleichsam in Symbiose lebenden Arten (Fliege, Maus, Ratte etc.).

ihrer Gesteinsbeschaffenheit, wie ihrer Einschlüsse gab, und anderseits meine schwäbischen Freunde darauf vorzubereiten, dass das, was wir als „normale“ Trias zu bezeichnen gewohnt sind, keineswegs diesen Namen verdient, sondern im Gegenteil ganz abnorm ist.

Wohl war die deutsche Trias der Ausgangspunkt für die Untersuchungen auf diesem Gebiete und wurde nach ihrer Ausbildungsweise die Einteilung in die drei Hauptglieder: Buntsandstein, Muschelkalk und Keuper nebst deren Unterabteilungen begründet, wohl bildet sie auch heute noch die Grundlage, in deren Schema man oft nur zu gewaltsam auch die ausserdeutschen triassischen Schichten einzwängen will, aber darüber ist man sich schon lange klar geworden, dass die germanische Trias nur eine lokalisierte, im grossen Ganzen auf das ausseralpine Deutschland beschränkte Binnenfacies darstellt. Die oceanische und damit kosmopolitische Facies der Trias, welche wir mit mehr Recht als die normale Ausbildung bezeichnen können, ist uns als alpine Trias am meisten bekannt, ihre Erstreckung über den grössten Teil der Erde, soweit dort überhaupt triadische Ablagerungen bekannt geworden sind, ist zur Genüge erwiesen. Ich lasse diese oceanischen Ablagerungen der alpinen Trias bei den Untersuchungen über die Bildung der germanischen Trias unberücksichtigt und möchte nur kurz andeuten, dass sich dort ganz ähnlich, wie in anderen oceanischen Ablagerungen, z. B. unserem schwäbischen Jura, ein Wechsel von positiven und negativen Verschiebungen der Strandlinien¹ beobachten lässt, infolgedessen echt litorale Bildungen mit solchen des offenen tiefen Meeres² abwechseln; dazu kommt die Änderung des Gesteinsmaterialies wie der Fauna, je nach der Beschaffenheit des Untergrundes, die verschiedene Materialzufuhr von der Küste her, die Riffbildungen und dergleichen. Kurz, es findet sich dort jener für die oceanischen Küstenzonen so charakteristische Wechsel aller möglichen marinen Faciesarten, der das Studium dieser Gebilde so überaus interessant gestaltet. Hierzu gesellt sich noch die grosse Mannigfaltigkeit und der Formenreichtum der allerdings fast ausschliesslich marinen Tierwelt. In ihr lernen wir den Übergang von der palaeozoischen Fauna zu der in Deutschland

¹ Nach E. Suess haben wir als positive Verschiebung das Übergreifen des Meeres über den Strand, also eine vermeintliche Senkung, als negative Verschiebung das Zurückweichen des Meeres, d. h. eine scheinbare Hebung des Untergrundes anzusehen.

² Ich möchte den Ausdruck „Tiefseebildungen“ vermeiden, da solche in der alpinen Trias kaum mit Sicherheit nachzuweisen sind.

so unvermittelt auftretenden Jurafauna kennen, hier finden wir Entwicklungsreihen vieler Cephalopodengeschlechter, vor allem der Ammonitiden, der Nautiliden und teilweise der Belemniten. hier liegen zahllose Schalen von Muscheln, Schnecken und Brachiopoden begraben, die uns Aufschluss geben über die langsame, aber stetige Formenveränderung dieser Arten.

Ganz anders die germanische Trias. Vergebens suchen wir hier in der Gesteinsausbildung den raschen Wechsel der Facies; über das ganze Gebiet der deutschen Trias weg bleibt sich in grossen Zügen der Charakter jeder einzelnen Schichte gleich; mag auch zuweilen die Mächtigkeit oder die Einschaltung von Thon oder Dolomit etwas variieren, so werden wir doch stets innerhalb dieses Gebietes alle Schichtenglieder leicht und ohne Zwang in eine Parallele stellen können. Dieselbe Einförmigkeit, welche wir in der Gesteinsausbildung finden, sehen wir auch in dem Charakter der Fauna ausgeprägt. Wohl wächst zuweilen in einzelnen Schichten die Zahl der Individuen ins Unendliche, aber trotzdem bleibt der Formenreichtum ein überaus beschränkter. Das pulsierende Leben in den alpinen Triasgebieten stagniert hier, die Energie der Entwicklung erscheint gelähmt und an ihre Stelle nur eine unbegrenzte Fruchtbarkeit getreten zu sein.

Wir sehen schon aus dieser kurzen Charakteristik, dass die Bedingungen sowohl für die Ablagerung der Sedimente, wie für die Fauna innerhalb des Gebiets der deutschen Trias total verschieden waren von denen der oceanischen oder alpinen Trias.

Ich habe für die Ausbildung unserer deutschen Trias mich des allgemein gebräuchlichen Namens „Binnenfacies“ bedient, ohne zunächst eine Erklärung dafür zu geben, was man darunter zu verstehen hat. Dass der Ausdruck „Binnenfacies“ eine in sich abgeschlossene, lokal begrenzte und mit der oceanischen Facies nicht in direktem Zusammenhang stehende Formationsbildung bedeutet, darüber wird wohl kein Zweifel herrschen, viel schwieriger ist aber die Frage zu beantworten, wie man sich eine derartige Bildung zu denken hat, und zu diesem Zwecke müssen wir uns zunächst über die Frage klar werden, wie überhaupt Gesteine ausserhalb des Oceans im Binnenlande abgelagert werden können. Es giebt hierfür eine Reihe von Möglichkeiten:

1. Einbruch von Meeresarmen in flache Gebiete des Binnenlandes; es wird hierdurch eine Facies von oceanischem und zwar vorzüglich litoralem Typus entstehen.

2. Ablagerungen der wieder durch positive Bewegung abgeschnürten Meeresarme in Gestalt von Ausfällungen aus der gesättigten Salzlösung, welche durch das Eintrocknen des Meerwassers entsteht. Krusten von Steinsalz und Gips auf den marinen Gebilden.

3. Ablagerung von Flüssen, welche hauptsächlich aus sandigem und thonigem Material bestehen, in welchem sich eingeschwemmte Landbewohner eingebettet finden.

4. Ablagerungen in grossen Seen und Niederungen, welche zunächst aus thonigem und sandigem Material mit Süsswasserfacies bestehen. Ein gänzlich verschiedener Charakter stellt sich aber ein, sobald wir die Seen als abflusslose Gebiete betrachten, die als Relikten des Meeres in den Niederungen früherer Meeresgebiete sich gebildet haben. Die Zuflüsse führen den Salzgehalt des früheren Meeresbodens nach den Binnenseen und so werden die Süsswasserbecken zu Salzseen, meistens sogar zu übersättigten Salzlacken, deren Gesteinscharakter demjenigen von abgeschnürten Meeresarmen gleicht und in welchen auch die Fauna, wenn eine solche in den übersättigten Salzseen sich überhaupt erhält, einen gewissen Anklang an marine Fauna aufweist. Die Ablagerungen von Thon, Sand, Gips und Salzen können bei langanhaltender Dauer viel mächtiger anwachsen, als in austrocknenden Meeresarmen.

5. Bei kontinentalen Binnenablagerungen haben wir nicht nur die Sedimente des Wassers, sondern auch die äolischen Bildungen in Betracht zu ziehen. Windbildungen können unter günstigen Bedingungen ganz beträchtliche Mächtigkeiten erreichen, wie uns heute noch die äolischen Löss, die Sanddünen der Küstengebiete und die Sandmeere der Wüsten beweisen.

Wir wollen uns mit diesen 5 Faktoren für Gesteinsbildungen einer Binnenfacies begnügen, da zur Zeit wenigstens noch keine Beweise etwa für Eis- resp. Gletscherablagerungen zur Triaszeit ebensowenig wie für vulkanische Bildungen in unserem Gebiete vorliegen.

Jedermann, der sich schon eingehender mit den Gebilden unserer Trias beschäftigt hat, muss sich darüber klar geworden sein, dass mindestens einige der oben genannten Faktoren in Frage kommen können, und ich werde nachzuweisen suchen, dass alle 5 sich mehr oder minder daran beteiligt haben. Wir werden sehen, dass es während der Triaszeit in der That äolische Wüstengebilde, Abschnürung von Meeresarmen, Umwandlung dieser austrocknenden Meeresteile in abflusslose Seengebiete mit Flusssandstrichen giebt,

aber wir dürfen nicht vergessen, dass eine derartige Facies eine Vorbedingung fast mit Notwendigkeit in sich schliesst, nämlich die eines grossen Depressionsgebietes, d. h. eines Gebietes innerhalb des Kontinentes, welches tiefer lag, als der damalige Meeresspiegel des offenen Oceans. Alle Erscheinungen der heutigen Geographie, welche sich mit den Bildungen der germanischen Trias vergleichen lassen, spielen sich in Depressionsgebieten ab und für manche derselben kann es als eine *conditio sine qua non* bezeichnet werden. Es ist aber nicht allein der Vergleich mit den recenten Bildungen, welcher uns zur Annahme von Depressionsgebieten während der Triaszeit führt, sondern auch der Umstand, dass wir gewisse Erscheinungen der damaligen Bildungen überhaupt nicht anders erklären können und welche mit zwingender Notwendigkeit eine Depression und zwar eine ausserordentlich tiefe voraussetzen.

Diese Depression ist keineswegs erst mit Beginn der Triaszeit entstanden, sondern sie ist schon sehr lange vorbereitet und vorgebildet. Ich will nicht allzuweit ausgreifen, so sehr es auch reizt, diesen Gedanken weiter zu verfolgen, und lasse deshalb die geographischen Verhältnisse zur Karbonzeit, welche zur Erklärung der grossen Steinkohlenablagerungen führten, unberücksichtigt, aber ein Blick auf die faciiellen Unterschiede während der Dyaszeit lehrt uns, dass wir auch damals schon eine der triadischen vollständig analoge Trennung zwischen Binnenfacies und oceanischer Facies finden. Auf der einen Seite das typische Perm mit echt mariner Gesteinsbildung und den Entwicklungsreihen der marinen Fauna, auf der andern Seite die nahezu petrefaktenleere Facies des deutschen Rotliegenden mit seinen Sandsteinen und Thonen, an welche sich in geringer Mächtigkeit die echt marinen Ablagerungen des Zechsteins, sowie die Gipse und Salze dieser Formation anschliessen. Betrachtet man die deutsche Facies der Dyas etwas genauer, so möchte man das untere Rotliegende als direkte Fortsetzung des Karbon ansehen, während welchem sich nur wenig die orographischen Verhältnisse verschoben, und die grossen Niederungen, in denen die üppige Flora sich sammendrängte, von Norden nach Süden vorrückten. Die Zeit des mittleren Rotliegenden bezeichnet für den grössten Teil von Deutschland die Sturm- und Drangperiode, in welcher sich unter Begleitung von mächtigen vulkanischen Erscheinungen das eigenartige, in sich und gegen die Aussenwelt abgeschlossene Depressionsgebiet vorbereitete. Die sedimentäre Ausbreitung und Verschleppung des vulkanischen Materiales, vor allem der vulkanischen Tuffe bleibt eine

überaus beschränkte und deutet darauf hin, dass der Abfluss der Gewässer nach dem Ocean nicht mehr frei und ungehindert war. Auf die Deutung der mächtigen Thon- und Sandlager will ich nicht näher eingehen und nur andeuten, dass dieselben vielleicht am leichtesten als Absätze von abflusslosen Seen und als äolische Wüsten-Sandbildungen zu deuten sind. Eine ganz bestimmte Marke bedeutet während der Dyas der zweifellos marine untere Zechstein, der wohl kaum anders als durch einen Einbruch des offenen Meeres von Osten gegen Westen gedeutet werden kann. Das Meer fand hier offenbar nur flache Niederungen und beschränkte tiefere Buchten vor, in denen es in das Land eindringen konnte, aber auch dieser Umstand setzt schon unbedingt das Vorhandensein von Depressionen, wenn auch untergeordneter Art, voraus. Diese Depression gestaltete sich im Norden von Deutschland, d. h. nördlich vom Harz und Thüringer Wald immer mehr aus und infolgedessen entstanden dort aus den Relikten des Zechsteinmeeres abflusslose Seengebiete, in welche hauptsächlich von Süden, vielleicht auch von Norden her die Gewässer Abfluss fanden und die salzigen Überreste des einstigen Zechsteinmeeres diesen Niederungen zuführten. Klimatische Verhältnisse brachten es mit sich, dass dort die Verdampfung in den Seengebieten grösser war als die Zufuhr durch die Ströme, und so konnten sich dort aus übersättigten Lösungen jene fabelhaften Mengen von Kochsalz niederschlagen, welche heute noch das Erstaunen aller Geologen hervorrufen. Durch Steigerung des Missverhältnisses zwischen Verdampfung und Wasserzufuhr konnten schliesslich auch noch die leichtlöslichen Salze zur Ausfällung kommen, und diese ganz abnormen Verhältnisse können wir uns nur in einem trockenen Wüstenklima, das an dasjenige der Sahara oder Wüste Atacama erinnert, denken. Eine nicht auf wässerigem, sondern auf trockenem Wege entstandene Ablagerung musste die Salzlage bedecken, um sie späteren lösenden Einflüssen unzugänglich zu machen und sie uns bis auf die heutige Zeit zu erhalten. Diese Bedingungen erfüllt aber nur der trockene glühende Wüstensand und Staub, der nicht durch Wasser, sondern durch den Wind transportiert wird.

Damit treten wir ein in die Gebilde der germanischen Trias.

1. Die Wüstenbildungen zur Buntsandsteinzeit.

Ehe wir auf die Bildungsweise des Buntsandsteines näher eingehen, müssen wir uns in kurzen Zügen die geographische Verbreitung und die lithologische Ausbildung dieser Formation vor Augen führen.

Verbreitungsgebiet.

Weitaus die grösste Verbreitung unter den Schichtengliedern der deutschen Trias zeigt der Buntsandstein, bekanntlich nicht zum Segen des Landes; sterile für die Landwirtschaft unbrauchbare Sandböden, nur geeignet für Nadelholzwald, charakterisieren ihn, und nicht mit Unrecht wurde die weite Verbreitung dieser Formation von L. v. BUCH als ein Nationalunglück für Deutschland bezeichnet.

Die grossen Waldgebirge der Vogesen und der Hardt, des Schwarzwaldes, Odenwaldes und Spessarts kennzeichnen am besten den Buntsandstein. Weithin nach allen Seiten dehnen sich aber noch die Ausläufer dieser Formation aus, von den Vogesen und der Hardt gegen Süden nach der Schweiz, gegen Westen nach Frankreich, gegen Norden durch die Eifel bis nach der Hohen Venn und den Ardennen. Der Buntsandstein des Schwarzwaldes, Odenwaldes und Spessarts zieht sich östlich unter den höheren Triasgebilden von Schwaben und Franken hin und zeigt gegen Norden weite Verbreitung über die Rhön bis zum Thüringer Wald; weiterhin dehnt er sich durch den Habichtswald und Solling bis zum Teutoburger Wald aus, findet sich rings am Fusse des Harzes ausgebildet, ebenso wie wir ihm an zahlreichen Punkten der norddeutschen Tiefebene begegnen. Gegen Osten haben wir dann noch die Ablagerungen der unteren Trias am Nordfuss des Riesengebirges und der Tatra in Nieder- und Oberschlesien beizuzählen, ebenso wie die weitverbreiteten Schichten des New Red Sandstone im centralen England und die analogen Gebilde in Frankreich berücksichtigt werden müssen.

Es ist wohl mit Sicherheit anzunehmen, dass alle diese mehr oder minder voneinander getrennten und teilweise isolierten Verbreitungsgebiete ursprünglich ein zusammenhängendes Ganzes bilden und dass es nur spätere Dislokationen, Abwaschungen oder Bedeckung mit jüngeren Schichten waren, welche das ursprüngliche Bild verwischt haben. Wir wollen aber doch den Versuch machen, dieses wiederherzustellen.

Die Grenzen des einstigen Buntsandsteingebietes gegen Norden festzulegen, ist nicht möglich, da uns die fast alles verhüllende Decke der jüngeren Schichten und vor allem der diluvialen Schottergebilde zu wenig Aufschluss gewährt; immerhin zeigen uns die Vorkommnisse des Buntsandsteines von Rüdersdorf, Lüneburg und Helgoland, sowie die Befunde bei einzelnen Bohrungen, dass das Triasgebiet wahrscheinlich die ganze norddeutsche Tief-

ebene umfasste, und gegen Nordwesten mit dem Buntsandsteingebiet von England in ununterbrochenem Zusammenhang stand. Auch gegen Westen ist die Begrenzung undeutlich und verschwommen; wohl mit Sicherheit dürfen wir die Verbreitung des Buntsandsteines im ganzen Norden von Frankreich bis zur Bretagne annehmen, ebenso wie die isolierten Vorkommnisse im Centralplateau auf eine Bedeckung hinweisen. Aber auch im Süden von Frankreich bis zum Fusse der Pyrenäen scheint der Buntsandstein den Charakter der germanischen Trias zu tragen und würde demnach auch noch in das Verbreitungsgebiet hereinziehen sein.

Bestimmter lässt sich die Begrenzung des deutschen Buntsandsteingebietes im Süden aufstellen. Im südlichen Teile der Vogesen und des Schwarzwaldes wurde von BENECKE und ECK eine deutliche Transgression der jüngeren Glieder des Buntsandsteines über das Urgebirge nachgewiesen, so dass wir dort bereits die Grenzen des unteren Buntsandsteines haben; diese Grenze verschiebt sich im mittleren und oberen Buntsandstein nach Süden bis in die nördliche Schweiz. In Schwaben und Franken ist zwar der Buntsandstein zum grössten Teile, und leider in dem für diese Frage wichtigen südlichen Gebiete, vollständig von jüngeren Trias- und Juraschichten bedeckt, doch schliesse ich mich GÜMBEL'S Ansicht an, der einen trennenden Gebirgszug, das „Vindelicische Gebirge“, zwischen den Alpen und dem ausseralpinen Deutschland angenommen hat. Dieses vom südlichen Schwarzwald nach dem Bayerischen Wald, etwa in der heutigen Donaulinie streichende Gebirge bildete zugleich die südliche Begrenzung des Buntsandsteines. Dass die Trias überhaupt wahrscheinlich nur noch geringen Anteil an dem Untergrunde unter dem Jura der Alb hat, wird durch die Seltenheit der triadischen Gesteine in den Auswürflingen der Maare des Uracher Vulkangebietes, sowie in den Überschiebungsbreccien (bunte Breccie GÜMBEL'S) des Rieses angedeutet. Diese von SW. nach NO. streichende Linie wird mit dem Bayerischen und Böhmer Wald nach Norden bis zum Fichtelgebirge verschoben. Der Thüringer Wald ist zwar in seinem centralen Teile gänzlich frei von Triasgesteinen, doch weist die gleichmässige Entwicklung im Norden und Süden des Gebirges, sowie der Mangel von irgendwelchen litoralen Bildungen darauf hin, dass auch dieses Gebiet vollständig von den Gebilden der Trias, jedenfalls von den Schichten des Buntsandsteines bedeckt war. Die ehemalige Begrenzung wäre demnach am Rande des Erzgebirges oder des sächsischen Mittelgebirges zu suchen. Weiterhin gegen Osten

schliessen sich die alten Gebirgsmassive an, welche das böhmische Becken umgeben und deren Nordfuss die Grenze des germanischen Triasgebietes bildet. Wie im Norden, so entzieht sich auch im Osten die Ausdehnung der Trias unter der Decke der jüngeren Formationen unserer Beobachtung.

Wie weit innerhalb dieses grossen Gebietes einzelne Gebirgsteile frei von Bedeckungen des Buntsandsteines blieben, ist natürlich nicht leicht zu entscheiden. Mit einiger Wahrscheinlichkeit möchte man dies von den centralen Teilen des Harzes annehmen, der gleichsam eine Insel innerhalb dem Sandmeer bildet. Dass der Thüringer Wald früher eine Decke von Buntsandstein getragen hat, wurde bereits erwähnt. Die Grabenversenkung des Rheinthales bildete ohne Zweifel früher die Brücke zwischen Schwarzwald und Vogesen und schloss sich genau der Entwicklung in diesen Gebirgen an. Auch für die palaeozoischen Gebirgszüge des Hunsrück, der Eifel, des Taunus, des Westerwald und Sauerlandes dürfen wir wohl vielfach Bedeckungen von Buntsandstein von mehr oder minder bedeutender Mächtigkeit annehmen, wie sie ja auch noch in kleinen Überresten innerhalb der Eifel und im nördlichen Sauerland bei Menden, NO. von Iserlohn, erhalten sind. Es bildet dieses Gebirgsland aber doch einen Distrikt, der die Triasgebiete im Osten und Westen petrographisch trennt, ebenso wie er die südliche Facies der Vogesen in mancher Hinsicht abschliesst, so dass wir dort nicht eine gleichmässig verbreitete, sondern nur eine stellenweise Bedeckung annehmen dürfen.

So sehen wir das Buntsandsteingebiet als eine weite, nach Westen, Norden und Osten verlaufende und nur im Süden durch die palaeozoischen oder noch älteren Gebirge begrenzte Fläche sich ausbreiten, in welcher nur wenige Höhenzüge, wie der Harz und einzelne Teile des rheinischen Schiefergebirges, inselartig hervorragen. Die mächtigen Gebirgszüge des Vindelicischen Gebirges, des Böhmerwaldes, Erzgebirges, Riesengebirges, der Sudeten und Beskiden bildeten die Scheidewand gegen den offenen freien Ocean, der sich im Süden ausbreitete und dessen breite Küstenzonen zur Buntsandsteinzeit einen ähnlichen Charakter trugen, wie im germanischen Triasgebiete. Hier konnte sich infolgedessen auch eine analoge Facies entwickeln, wie sie uns heute in den Alpen als Werfener Schichten bekannt ist.

Haben wir so die Ausdehnung des Buntsandsteingebietes kennen gelernt, so berührt uns zunächst die zweite Frage nach dem Unter-

grunde des germanischen Buntsandsteines. Derselbe wird in $\frac{9}{10}$ der untersuchten Profile durch das obere Rotliegende, resp. den Zechstein, gebildet. Dass sich nicht allenthalben der Zechstein zwischen Rotliegendem und Buntsandstein einschaltet, ist ohne Zweifel darauf zurückzuführen, dass die echt marinen Sedimente des Zechsteins eine geringere Verbreitung haben, als diejenigen des Rotliegenden. Thatsache bleibt jedenfalls, dass die Gebiete der germanischen Trias im allgemeinen mit denen der germanischen Facies der Dyas zusammenfallen und dadurch wird wohl mit Sicherheit erwiesen, dass die Bedingungen für die Triasperiode durch die vorangegangenen geologischen Phasen gegeben und vorgebildet waren. Ein genaueres Studium lehrt uns ferner, dass das fehlende $\frac{1}{10}$ des Verbreitungsgebietes, d. h. die Zone des Buntsandsteines, welche nicht Dyas als Grundlage aufweist, im Süden zu suchen ist, einerseits in den Gebieten, welche wir als Grenzen des Buntsandsteines angesehen haben, anderseits in den als mehr oder minder inselartig hervorragenden Höhenzügen. Wir können im allgemeinen feststellen, dass der Buntsandstein sich vollständig konkordant dem Verbreitungsgebiete der Dyas anschmiegt, aber zugleich eine Transgression an den südlichen Grenzgebieten aufwärts zeigt, wodurch sich sein Verbreitungsgebiet nach dieser Richtung erweitert.

Gesteinsbeschaffenheit und Versteinerungen.

Gehen wir von der geographischen Verbreitung zu der Untersuchung der Gesteinsbeschaffenheit oder lithologischen Zusammensetzung dieser Formation über, so fällt uns zunächst auch hierbei der enge Anschluss an die darunter liegenden Schichten der Dyas und speciell des Rotliegenden auf. In vielen Fällen ist überhaupt eine scharfe Grenze kaum festzustellen und meistens wird es jedem Geologen gezwungen und unnatürlich erscheinen, zwischen diesen so ausserordentlich gleichmässigen Formationen die Grenze zweier grosser Perioden unserer Erdgeschichte der palaeozoischen und mesozoischen erkennen zu wollen. Wie das Rotliegende mit roten oder bunten Schieferletten und lichten Sandsteinen abschliesst, so beginnt der Buntsandstein durchgehend mit derselben Facies. Nur am Südrande des Harzes in einem verhältnismässig kleinen Gebiete, das von Nordhausen bis zur Elster reicht, ebenso in der kleinen Triasscholle von Rüdersdorf finden sich im unteren Buntsandstein als fremdartige Einlagerungen dolomitische und kalkige Roggen-

steine. Sie schliessen sich bezüglich ihrer Verbreitung an die marine Facies der Dyas, d. h. an die Salzlager des oberen Zechsteines an. In allen übrigen Teilen des oben beschriebenen Buntsandsteingebietes zeigt der untere Buntsandstein eine gleichartige Facies. Das Liegende bilden feine rote Thone, sogen. Bröckelschiefer, nur lokal durchzogen oder ersetzt von Konglomeratbänken (Thüringen): darüber lagern charakteristische, feinkörnige, lichte (weisse oder gebänderte) Sandsteine mit thonigem Bindemittel und häufigen Einlagerungen von Thonbänkchen. Am Nordrande der Eifel stellt sich in diesen Sandsteinen in Gestalt von kleinen Knöllchen, sogen. Knotten, Bleiglanz ein, der bei Commern und Mechernich ausgebeutet wird. Auch sonst trägt dort der untere Buntsandstein einen eigenartigen Charakter, indem sich Konglomerate (Wackendeckel) mit Eisen- und Manganeinlagerungen einschalten, so dass die ganze Facies den Charakter einer lokalisierten Küstenbildung unter Einwirkung von Mineralquellen bekommt.

Die Mächtigkeitsverhältnisse sind ausserordentlich schwankend. Im südlichen Schwarzwald wie in den südlichen Vogesen fehlt, wie bereits erwähnt, die untere Stufe des Buntsandsteins überhaupt, gegen Norden stellt sie sich dann in vorwiegend sandiger Facies ein und schwillt allmählich bis zu 60 und 70 m an. In der Hardt wie im Odenwald und Spessart gewinnt die unterste Thon- und Konglomeratstufe grosse Ausdehnung und Mächtigkeit, so dass die Gesamtmächtigkeit über 100 m beträgt, welche jedoch weiterhin nach Norden wieder abnimmt, wobei sich ausserdem noch die eigenartige Facies der Rogensteinbildung dazugesellt.

Der mittlere oder Hauptbuntsandstein trägt allenthalben gleichmässig den Charakter einer Sandsteinfacies von ausserordentlich gleichartiger Ausbildungsweise. Wie bei uns im Schwarzwalde, so finden wir auch im übrigen Deutschland über dem unteren Buntsandstein eine mächtige Ablagerung von roten, durch Eisenoxyd gefärbten Sandsteinen von mittlerem Korn. Die Quarzkörner, welche mit geringem thonigen Bindemittel das Gestein bilden, sind meist gerundet und fettig glänzend, zuweilen haben sie aber auch noch vorzüglich die Krystallform des Quarzes bewahrt. Thonige Einlagerungen sind sehr häufig, weniger in Form von weitgehenden Schichten oder Bänkchen, als in Gestalt von Putzen oder Thongallen im Sandstein. Als weitere charakteristische Merkmale sind hervorzuheben: 1. die Diagonalschichtung, d. h. eine quer die einzelnen Bänke durchsetzende Schichtenlage, welche unter den

verschiedensten, meist spitzen Winkeln aneinanderstossen, dieselbe herrscht hauptsächlich in der unteren Abteilung des Hauptbuntsandsteines vor. 2. Das Auftreten von Pseudomorphosen nach Kalkspat, Dolomit und Steinsalz in den mittleren Lagen. 3. Kugelförmige Gebilde von Sandstein, welche in einen mangan- und eisenhaltigen Mulm eingebettet sind (Kugelsandstein); als analoge Bildung sind auch die kleinen Körner oder dunklen Flecke erzhaltigen Sandsteines im sonstigen Sandstein (Tigersandstein) anzusehen. 4. Das Auftreten von typischen Geröllhorizonten oder Konglomeraten der unteren und oberen Zone. Diese Geröllhorizonte finden sich in vorzüglicher Weise in den südlichen Distrikten als leitende Horizonte ausgebildet, fehlen aber auch im Norden sowohl in der Eifel, wie in Thüringen nicht, wenn sie auch dort weniger in bestimmten Lagen auftreten, sondern mehr breite Zonen des Gesteines durchsetzen. Im allgemeinen lässt sich immer festhalten, dass durch eine untere und obere geröllführende Zone eine mächtige geröllfreie Sandsteinzone umschlossen ist. Zu beachten ist ferner, dass in dem unteren Konglomerat noch Gerölle des festen Untergrundgesteines (Porphyre, devonische Quarzite u. dergl.) enthalten sind, während das obere Konglomerat nur Quarzgerölle führt.

Die Mächtigkeit des Hauptbuntsandsteines ist eine ganz ausserordentliche; sie schwillt im Schwarzwald und den Vogesen schon auf mehr als 200 m an, erreicht in der Hardt und bei Heidelberg bis 350 m, im Odenwald 300 m, im Spessart 250 m und bleibt auch in Thüringen über 200 m mächtig. Auch noch im äussersten Osten, in Nieder- und Oberschlesien finden wir den mittleren Buntsandstein mit Mächtigkeiten von 30—40 m.

Der obere Buntsandstein oder das Röt wird durch eine ganz eigenartige, fast durch ganz Deutschland beobachtete Bank von dem Hauptbuntsandstein getrennt, welche als Karneolbank bezeichnet wird und sich durch das Auftreten von Thonen, knolligen Sandsteinen, Dolomiten und Einsprengungen von Knauern eisenhaltigen Quarzes oder Karneoles kundgibt. Über diesem leitenden Horizont folgt nun eine Ablagerung, welche in den verschiedenen Triasgebieten sehr verschiedenfach entwickelt ist. Im Süden, d. h. in den Vogesen und im Schwarzwald, herrscht zunächst die sandige Facies als feinkörniger, glimmerreicher und thoniger Sandstein mit Pflanzenresten (Voltziensandstein) oder Spuren von Tierfährten (Chei-rotheriensandstein) vor, welche erst nach oben in eine Thonfacies, zuweilen mit Einlagerung von dolomitischen Kalksteinen, übergeht.

In letzterem finden sich Überreste von marinen Tieren. Gegen Norden und Nordosten nimmt die Sandsteinfacies auf Kosten der Thonfacies allmählich ab; die Sandsteine werden immer feinkörniger, glimmer- und thonreicher und machen mehr und mehr der Mergelfacies Platz. Dabei stellen sich Einlagerungen von Thonsandsteinen und Mergeln mit Pflanzen, Estherien und *Lingula* ein (Trier und Eifel). Im südlichen Thüringen gewinnt bereits der Mergel mit Einlagerung typisch mariner Dolomit- und Kalkbänke die Oberhand; nördlich vom Thüringer Wald und am Harz finden wir als charakteristische Begleiter mariner Sedimente Ablagerungen von Kalk, Dolomit, Gips und Steinsalz, und wenden wir uns mehr nach Osten, so sehen wir schon in Rüdersdorf das Röt in der Facies des unteren Muschelkalkes als vorwiegend lichte dolomitische Mergel mit marinen Fossilien entwickelt und weiterhin in Nieder- und Oberschlesien wird die Ausbildung so ausgesprochene untere Muschelkalkfacies, dass eine Trennung nur mit grösster Sorgfalt ermöglicht ist, denn nicht nur der Gesteinscharakter, sondern auch die Fossilien tragen vollständig den Charakter des unteren Muschelkalkes.

Für die Beurteilung der Bildungsgeschichte einer Ablagerung bieten in den meisten Fällen die in den Schichten eingeschlossenen Überreste oder Petrefakten den besten Anhaltspunkt. Bekanntlich lässt uns in dieser Hinsicht der Buntsandstein fast gänzlich im Stich. Abgesehen von der oberen Stufe des Röttes in seiner marinen Facies, welche wir aber genetisch zum Muschelkalk ziehen müssen und deshalb erst später behandeln werden, finden wir nur äusserst selten petrefaktenführende Bänke. Hierher zählen die Vorkommnisse eines beschränkten Gebietes, das nach EBERT¹ von Ost-Thüringen bis zur Weser, nördlich bis zum Harz, südlich bis zum Meissner und Rudolstadt reicht; dort finden sich im unteren Teile des Hauptbuntsandsteines Schieferplatten mit massenhaften Estherien und einigen kleinen Muschelarten, unter welchen *Gervillia Murchisoni* GEIN. und *Aucella Geinitzi* EBERT von Wichtigkeit sind. Beides sind indifferente Arten, welche sich aber mehr an die Formenreihen der Dyas, als an diejenigen des Muschelkalkes anschliessen. Wichtiger als dieses Vorkommen von Muscheln und leitend in dem grössten Teile des Buntsandsteingebietes sind die Fährten und Skelettfunde von grossen Labyrinthodonten. Namentlich charakteristisch sind die Fährtenabdrücke

¹ Jahrb. d. k. preuss. geol. Landesanstalt. 1888. S. 237.

im unteren Teile des Röt, dem sogen. Cheirotheriensandstein; sie treten zusammen mit sogen. Rippelmarken oder Wellenfurchen, Ausfüllungen von Sprüngen und den Eindrücken von Regentropfen in den thonigen Zwischenlagen zwischen dem Sandstein auf, und können nur dadurch erklärt werden, dass die Tiere in den feuchten Schlamm eingetreten sind, dass dann der Schlamm erhärtete, dabei Risse und Sprünge bekam und schliesslich wieder von Sand bedeckt wurde. Die Skelettteile dieser Labyrinthodonten sind ausserordentlich selten und nur an einer Lokalität bei Bernburg a. S. in grosser Anzahl und guter Erhaltung gefunden. Sie gehören teils dem zierlichen *Trematosaurus*, teils dem kräftigeren *Capitosaurus* an und bilden zweifellos die Vorläufer der späteren Riesenformen unter dieser Tiergruppe. Der seltsame sogen. *Labyrinthodon Rüttimeyeri* aus dem Buntsandstein von Riehen bei Basel ist eine vollständig isolierte Tierform, welche mit den triassischen Labyrinthodonten nichts gemein hat und wohl mit Recht von SEELEY als *Aristodesmus* zu den Anomodontiern gestellt wird, jedenfalls war er ein echter Landbewohner. Ebenso wie die Fauna, so ist auch die Flora nur in äusserst spärlichen Resten erhalten. Die uns aus dem Voltziensandstein und obersten Röt (Sulzbad) erhaltene Flora mit Equiseten (*Equisetum Mougeoti*), Farnen und Tannen (*Voltzia heterophylla*) schliesst sich in ausgesprochener Weise an die jüngere Triasflora des Keupers an. Aus der Flora und Fauna, insbesondere, wenn wir von dem lokalisierten Auftreten der *Gervillia Murchisoni* absehen, erkennen wir, dass dieselbe eine ausserordentlich dürftige war und sich auf Land-Pflanzen und -Tiere beschränkte, während echt marine Formen erst mit Abschluss der Buntsandsteinperiode sich einstellen.

Entstehungsgeschichte.

Fassen wir nun diesen geographischen, lithologischen und faunistischen Überblick zu einem Bild über die Entstehungsgeschichte dieser Formation und die klimatischen und geographischen Verhältnisse der damaligen Zeit zusammen, so kommen wir zunächst zu dem Schluss, dass die Buntsandsteinformation eine auf einen verhältnismässig kleinen Raum beschränkte Binnenfacies darstellt, welche direkt mit den oceanischen Bildungen nichts zu thun hat. Der Ocean war wenigstens in den Gebieten, welche unserer Beobachtung zugänglich sind, d. h. auf der südlichen Grenzzone, durch mächtige Gebirgsketten von dem Binnenlande der germanischen Trias abgeschnitten.

Wie konnten sich aber innerhalb des damaligen Kontinentes so mächtige Ablagerungen aufbauen? Die Fauna und Flora lehrt uns, dass wenigstens noch zur Zeit des unteren Rötes kein Meer oder See, sondern Land vorhanden war; nur in dem kleinen Verbreitungsgebiete der *Gervillia Murchisoni* müssen wir nach den Fossilresten zeitweise Bedeckung des Landes durch ein Binnenmeer annehmen. In dem weitaus grössten Teile der Formation sind wir aber ausschliesslich auf den Gesteinscharakter angewiesen und haben deshalb zu untersuchen, zu welchen Schlüssen über die Bildungsweise uns dieses führt. Das Material besteht aus Sandstein quarzitischer Natur und Thon, den wir als schlammigen Niederschlag aus dem Verwitterungsprodukt der Feldspaté und sonstiger Silikate ansehen dürfen. Auffallend ist der Mangel an kalkigen und dolomitischen Niederschlägen, welche in anderen Sedimenten eine so grosse Rolle spielen. Massgebend für die Natur und Gesteinsbeschaffenheit einer Binnenfacies ist in erster Linie das Liegende, welches zur Zeit der Bildung die Oberfläche bildete. In unserem Falle sind dies die verschiedenartigen dyassischen Gebilde, zum grössten Teile die Mergel und Sandsteine des Rotliegenden, untergeordnet die Kalke, Dolomite und Gipse der Zechstein-Facies. Dass sich die Bildungen des unteren Buntsandsteins petrographisch auf das engste an die Gesteine des Rotliegenden anschliessen, ist weiter nicht befremdend, denn sie stellen mehr oder minder nur eine Umarbeitung ein und desselben Materiales dar. Es musste aber bald die Zeit eintreten, in welcher das Rotliegende von den Sedimenten des unteren Buntsandsteines bedeckt war und die weiteren Schichtenanhäufungen bekamen nun die Materialzufuhr aus den Grenz- resp. Randgebirgen. Wir haben gesehen, dass diese, soweit nachweisbar, aus alten krystallinischen Gesteinen, Graniten und sonstigen vulkanischen Gesteinen, sowie aus den meist sehr harten quarzitischen Gesteinen des älteren Palaeozoicums bestanden. Das Material aus diesen Gebirgen musste demnach ein sehr quarzreiches sein.

Der erste und nächstliegende Gedanke bei der Bildung von Sedimenten ist stets derjenige an den Niederschlag resp. Transport durch Wasser, sei es in Gestalt von Strömen, oder in grossen Binnenseen oder Binnenmeeren, soweit wir überhaupt nicht echte marine Bildung in Betracht ziehen können. Es lässt sich auch unter den Gebilden des Buntsandsteines manches für die Ablagerung auf nassem Wege geltend machen, so die wohlgeschichteten Thonbänke, die Rogensteine am Harz, die Einlagerung von Dolomiten im unteren

Buntsandstein und in der Karneolzone, auch die Verbreitung der Konglomeratbänke liesse sich damit ohne viel Zwang deuten. Die Diagonalstruktur würde kein Hindernis zu dieser Annahme sein, denn wir finden sie zuweilen auch in zweifellos marinen Sedimenten. Die Schichten mit Fährten, Rippelmarken, Rissen und Regentropfen würden nur die Annahme einer zeitweiligen Trockenlegung des Meeresgrundes verlangen.

Damit beginnen nun aber schon die Schwierigkeiten. Ein Meer oder Seebecken, das zuweilen und zwar nicht selten austrocknet, setzt eine ganz geringe Tiefe voraus und in einem derartigen Flachsee von sehr grosser Ausdehnung ist eine Verfrachtung von so schwerem Materiale, wie es der Quarzsand des Buntsandsteines ist, absolut undenkbar. Jedenfalls müsste sofort sich in dem Binnensee eine Sondierung des Materiales geltend machen in der Art, dass in der Küstenzone das gröbere Material zum Niederschlag käme, während dem inneren Teil des Sees nur noch feines, lange suspendierendes Material zugeführt würde. Dies widerspricht aber vollständig den Thatsachen und wir müssen deshalb den Gedanken fallen lassen, dass der Buntsandstein in einem Binnensee oder Meer auf nassem Wege entstanden sein könnte. Man könnte auch noch an den Transport in sehr breiten, vielfach sich verschiebenden Flussgebieten denken, aber auch hiergegen spricht die auf weite Strecken vollständig gleichmässige Ausbreitung einzelner Schichten, welche auch in sehr langsam fliessendem Gewässer undenkbar ist.

Wir sehen, dass der Hauptfaktor, an welchem die obigen Annahmen strauchelten, die gleichmässige Verbreitung einzelner Horizonte auf sehr grosse Entfernungen und die Gleichartigkeit des Gesteines, d. h. der Mangel jeglicher Faciesdifferenzierung innerhalb eines grossen Teiles des Buntsandsteingebietes ist.

Es giebt hierfür meines Erachtens nur zwei Erklärungsversuche, der eine beruht auf der Annahme breiter oceanischer Strömungen, welche jedoch für den Buntsandstein ausgeschlossen sind, der andere ist die Windbildung, und diese haben wir nun ins Auge zu fassen. Die Annahme einer äolischen Bildung des Buntsandsteines ist keineswegs etwas Neues, sondern sie hat sich schon lange bei den Geologen eingebürgert, indem man die Sandsteine mit ihrer Kreuzschichtung ganz richtig mit der Dünenstruktur verglich und so zu dem Schlusse kam, den Buntsandstein als Dünenbildung zu erklären. Man setzte sich hierbei freilich über die Schwierigkeit weg, dass

unsere heutigen Dünen, namentlich diejenigen, welche als Vergleich beigezogen wurden, Küstenbildungen sind, welche an das Meer gebunden sind. BORNEMANN¹, der sich dessen bewusst war, ging deshalb so weit, dass er den Buntsandstein in Beziehung zu den marinen Schichten des Zechsteins und Muschelkalks brachte und ihn als die Küsten- oder Dünenfacies eben dieser Meere erklärte. Nach ihm würde also der Buntsandstein gleichaltrig sein mit dem oberen Zechstein und unteren Muschelkalk. Die Haltlosigkeit dieser Theorie ergibt sich schon aus der Lagerung, denn wir finden stets die ganze Buntsandsteinformation zwischen Dyas und unteren Muschelkalk eingeschaltet, nirgends liegt, wie dies nach BORNEMANN zu erwarten wäre, der Muschelkalk direkt auf dem Zechstein, auch zeigt nirgends der Muschelkalk eine Transgression über den Buntsandstein oder gar umgekehrt, wie es bei den starken Strandverschiebungen zu erwarten wäre.

Wir sind nach den Lagerungsverhältnissen gezwungen, den Buntsandstein als selbständige geologische Periode aufzufassen, welche auch zeitlich zwischen Dyas und Muschelkalk eingeschaltet ist. Wir kennen bekanntlich aber auch Dünen, welche ganz unabhängig vom Meeressand und zwar in noch viel grösserer Ausdehnung als an der Küste auftreten, nämlich in den grossen Sandwüsten. Wer die trefflichen Schilderungen von ZITTEL und ROHLS² über das Sandmeer, westlich der Oase Dachel, über die 200 m hohen Dünenketten, welche selbst diesen energischen, kühnen Forschern ein unüberwindliches Hindernis im Vordringen setzten, kennt, und wer die klaren Ausführungen von J. WALTHER³ über den Charakter der Sandwüste gelesen hat, der zweifelt nicht mehr an der Wichtigkeit, welche der Wind auch als geologischer Faktor spielt. Ich selbst hatte Gelegenheit in einem Chamsin in der Ägyptisch-arabischen Wüste am 7. Mai 1897 die immense Transportfähigkeit des Sandes durch den Wind aus eigener Erfahrung kennen zu lernen. Die ganze Fläche des Bodens glich einem bewegten Meere und in wildem Ansturm prasselten die Sandmassen gleich einem tollen Hagelschauer gegen die Kamele und die tief verhüllten Reiter. Wenige Augenblicke genügten, um bei der notgedrungenen Rast hinter jedem Menschen

¹ Bornemann, J. G., Über den Buntsandstein in Deutschland und seine Bedeutung für die Trias etc. Jena 1889.

² Rohls, G., Drei Monate in der Libyschen Wüste. Kassel 1875. S. 161.

³ Walther, J., Die Denudation in der Wüste und ihre geologische Bedeutung. Leipzig 1891. S. 481 ff.

und Kamel, wie hinter den Laststücken viele fusshohe Sandwälle aufzuwerfen.

Die Wirkungen, welche die Deflation auf die Umgestaltung der Oberfläche hervorbringt, sind wie beim Wasser eine Abwaschung oder Denudation; hervorragende Höhen werden abgetragen und Vertiefungen ausgefüllt; „Ebenflächigkeit der Denudationsebene ist ein wesentlicher Charakter der Deflation“ (WALTHER, l. c. S. 554) und eben diese Ebenflächigkeit ist ja auch der wesentliche Charakter der Buntsandsteinschichten. Die Dünen treiben ununterbrochen weiter und werden so auf ungeheure Strecken verbreitet und ausgeflacht, so dass nur noch verhältnismässig dünne Sandschichten, aber diese mit der charakteristischen Dünenstruktur, übrig bleiben. Erklärt uns die Deflation einerseits die aussergewöhnliche Ebenflächigkeit und die gleichmässige Ausbreitung des Sandsteines, so finden wir in ihr auch anderseits eine ungezwungene Erklärung für die Natur und Zusammensetzung des Materiales. Die überwiegende Menge von Quarz und das Zurücktreten aller anderen Mineralsubstanzen im Sandstein, sowie die Verarbeitung der letzteren zu feinstem Thon ist gerade charakteristisch für die Sandwüste. Die verarbeitende Kraft des Windes in Verbindung mit Verwitterung und Insolation ist eine viel intensivere, als diejenige des Wassers und „nicht ohne Grund „sind Quarzsand und Kieselgerölle das verbreitetste Gestein der „Wüste. Auslese des Härteren ist das bestimmende Prinzip und in „dem Kampfe um das Dasein der Gesteine wird alles von den Kieselgesteinen an Stärke und Dauer übertroffen. — Jene unzähligen „Kieselgerölle, jene Massen von Quarzsand beweisen, dass von allen „Mineralien, welche gesteinsbildend in der Wüste auftreten, nur diese „beiden ausgelesen und erhalten bleiben, während alles übrige zerstört und weithin entführt wird“ (WALTHER, l. c. S. 434).

Es erscheint mir deshalb als einziger ungezwungener Erklärungsversuch für die Sandsteinbildungen des mittleren Buntsandsteines und teilweise auch für diejenigen des unteren Buntsandsteines die Annahme eines Wüstenklimas und Bildung einer grossen, das centrale Europa (Deutschland, England und Frankreich) umfassenden Sandwüste zu sein.

Es ist nun freilich damit nur für einen Teil der petrographischen Beschaffenheit des Buntsandsteines eine Erklärung gegeben und es bleibt noch übrig, auch für die übrigen Bildungen dieser Formationsgruppe eine Lösung zu finden.

Wir waren (vergl. S. 42) bezüglich des Abschlusses der Dyas zu der Ansicht gekommen, dass sich damals schon eine Depression im centralen Europa ausgebildet hatte, deren tiefster Punkt in Norddeutschland zu suchen ist, wo die mächtigen Salzlager auf die Zusammenführung aller der vom Zechsteinmeer zurückgelassenen Salze hinweisen. Diese Auslaugung des Bodens und der Transport nach den dortigen Binnenmeeren oder Chotts kann nicht anders, denn auf wässerigem Wege gedacht werden und beweist nur, dass wenigstens zur Übergangszeit von Dyas zum Buntsandstein noch Feuchtigkeit genug vorhanden war, um Gewässer zu speisen, welche nach dem Centrum der Depression zusammenströmten. Diesen fluviatilen Bildungen ist wohl hauptsächlich die Anfarbeitung des dyassischen Untergrundes und Bildung der Bröckelschiefer und des Grundkonglomerates zuzuschreiben. Dazwischen stellen sich aber auch bereits vielfach die Wirkungen der Deflation in Gestalt von äolischen Sandsteinen ein. Es ist gewiss kein Zufall, dass diese Sandsteine durchgehend sehr licht gefärbt sind und ich stimme ganz mit FRANTZEN¹ überein, wenn er dies nicht als spätere Ausbleichung ansieht. Mir ist diese lichte Färbung ein Hinweis dafür, dass damals der Sand zum Teil in Seebecken hineingeblasen wurde oder wenigstens so viel mit Wasser in Berührung kam, dass die Eisenlösungen grösstenteils abgeführt werden konnten. Zweifellos finden wir im unteren Buntsandstein noch vielfach eine Verarbeitung des äolischen und durch Wasser denudierten Materiales auf nassem Wege und wir können dieses Formationsglied als den Übergang von den sumpfigen Niederungen des dyassischen Depressionsgebietes zu der Sandwüste des Hauptbuntsandsteines ansehen. Wir erkennen hier, wenn ich so sagen darf, den Kampf zweier verschiedener Elemente, Wind und Wasser, welche aber dasselbe Endziel, die Denudation der Oberfläche, verfolgen.

Auch die Oolithe am Südrande des Harzes und anderen Punkten Norddeutschlands können nicht als Beweis gegen die äolische Natur dieser Formation angeführt werden. Freilich sind sie ursprünglich zweifellos marine Absätze und stammen aus den Relikten des Zechsteinmeeres, an dessen Verbreitungsgebiet sie auch jetzt noch räumlich gebunden sind, aber im unteren Buntsandstein befinden sie sich offenbar auf sekundärer Lagerstätte und stellen eine ähnliche

¹ Frantzen, W., Beiträge zur Kenntnis der Schichten des Buntsandsteines etc. am Nordrande des Spessart. Jahrb. d. k. preuss. geol. Landesanstalt 1888, S. 243.

äolische Bildung dar, wie sie J. WALTHER (l. c. S. 527) von der Küste des Roten Meeres bei Suez beschreibt.

Die eigenartigen Ablagerungen am Nordrande der Eifel mit ihren intensiven Erzführungen sind wohl als Binnensee-bildungen lokaler Art, also grösstenteils auf wässerigem Wege entstanden, anzusehen.

Nach und nach gewann in dem Buntsandsteingebiete das Wüstenklima die Übermacht und damit auch die typischen, äolischen Bildungen, welche dem Hauptbuntsandstein sein eigenartiges Gepräge geben. Wir dürfen uns aber nicht denken, dass damit überhaupt jeglicher Niederschlag aufgehört hätte, sondern wir dürfen wohl auch für jene Zeiten die charakteristischen tropischen Regengüsse annehmen. Durch sie wurde das äolisch, zum feinsten Staub verarbeitete weichere Material als Thonschichten niedergeschlagen und die Sandwüste zeitweilig in eine Lehmwüste verwandelt; durch das in den Sand eindringende Wasser wurde der fein verteilte Staub zu Klumpen und Schlieren zusammengeballt, ja zeitweilig wurden lokalisierte Sümpfe und Seegebiete geschaffen, in welchen auch zuweilen eine zufällig verschleppte Fauna Fuss fassen und sich entwickeln konnte (Gervillien-Schichten Thüringens). Durch intensive Regenperioden konnte auch wieder lokal die Denudation in den Randgebieten tief bis in den Untergrund der Wüstenbildungen einschneiden und Kiesmassen nach den Niederungen schaffen, welche teils als typische Schottermassen auftreten, teils aber durch spätere Stürme weithin verschleppt, als einzelne Gerölle im Sande sich finden. Durch Wasser wurden auch dem Wüstensande leichter lösliche Mineralsalze (Steinsalz, Kalk und Dolomit) zugeführt, welche in der Sandmasse zur Auskrystallisation kamen, aber bald wieder der Auflösung anheimfielen und durch Pseudomorphosen von Sand ersetzt wurden. Möglich dass dies, ebenso wie die Aggregation von Mangan und Eisenoxyd, spätere Bildungen unter der Einwirkung des Muschelkalkmeeres oder erst der heutigen Atmosphären sind.

Eine Änderung des petrographischen Charakters der Buntsandsteinformation tritt mit dem oberen Buntsandstein auf. Gewissermassen eingeleitet wird sie durch die Anhäufungen von Geröllen zu mehr oder minder mächtigen Konglomeratbänken. Die Gerölle unterscheiden sich von der unteren Geröllzone dadurch, dass sie ausschliesslich quarzitischer Natur sind, während, wie bereits bemerkt, die unteren Gerölle vielfach noch aus Gesteinsstücken des durch wässrige Denudation entblösten Unter-

grundes bestehen. Diese konnten wir als ein vielfach durch Wind verschlepptes Geröllmaterial aus Flussbetten bezeichnen, während die Gerölle des oberen Horizontes sich ihrer ausschliesslich quarzigen Natur nach als die Überreste einer Kieswüste darstellen. Diese Kieswüste haben wir uns aber zunächst nicht innerhalb der Sandwüsten-Zone zu denken, sondern am Rande derselben; sie musste dort in den kieselreichen Gesteinen der randlichen Gebirge dadurch entstehen, dass durch Insolation die Gesteine gesprengt und gelockert wurden und durch Deflation alles für den Wind transportfähige Material nach der Sandwüste, d. h. dem heutigen Buntsandsteingebiet abgeführt wurde. Der Rest waren ausschliesslich Quarzstücke von verschiedener Grösse und in allen Graden der Abrollung und Abschleifung durch den vorüberfegenden Quarzsand. Der Transport dieser Gerölle aus der randlichen Kieswüste in das Buntsandsteingebiet ist wohl nicht ausschliesslich dem Winde zuzuschreiben, sondern nur unter Zuhilfenahme von Wasser zu erklären. Es war also der umgekehrte Prozess, wie bei der Bildung der unteren Gerölle; bei Beginn der Wüstenbildung Verschleppung der durch das Wasser hergeführten Gerölle durch den Wind, bei Abschluss derselben Transport der durch den Wind gebildeten Kieswüste durch Wasser.

Dieser Wechsel musste offenbar einen Grund haben und ist kaum anders zu erklären, als dass nun das Wasser das Bestreben zeigte, rascher vom Rande her in das Wüstengebiet einzuströmen; dies wiederum ist nur dadurch erklärbar, dass sich von neuem eine Depression auszubilden bestrebt war und dass kontinentale Senkungen in dem grössten Teile des germanischen Triasgebietes eintraten. Das weite, durch ungeheure Sandmassen eingeebnete Gebiet nahm aufs neue den Charakter einer Depressions-Mulde an, welcher mit gesteigerter Gewalt und damit auch gesteigerter Transportfähigkeit die Wasser von den Randgebieten zuströmten.

Damit waren nun die Bedingungen zur Bildung eines weiten, anfangs sehr flachen Binnensees gegeben, der sich je nach den klimatischen Verhältnissen bald in einen ausgedehnten Sumpf verwandelte oder lokal auch gänzlich austrocknete. In solchen Zeiten der Trockenheit konnten auch wieder äolische Sand- und Staubbildungen überhandnehmen, aber sie treten mehr und mehr zurück und machen den wässerigen Sedimenten Platz. Als solche sind zunächst die dolomitischen Bildungen der Karneolzone anzusehen, denn der Dolomit kann nicht als äolisches Produkt aufgefasst

werden. Die Ausscheidungen von Karneol, sowohl in dieser Zone, wie in den untersten dolomitreichen Lagen des Buntsandsteines, sind nur als eine sekundäre Bildung anzusehen, entstanden durch Umwandlung und Infiltration von Dolomit durch die durch Eisenoxyd gefärbte Kieselsäure. Im Cheirotherien- und Voltziensandstein macht sich zuweilen noch der äolische Sand geltend, aber im allgemeinen ist das thon- und glimmerreiche, ausserordentlich feinkörnige Sandsteinmaterial viel zu wenig verarbeitet, um als typisches Wüstenprodukt angesehen zu werden. Noch viel mehr gilt dies von den sandigen Thonen des oberen Röttes, welche vollständig den Charakter wässeriger Sedimente tragen und den Übergang bilden zu der neuen Aera der Triasperiode.

2. Die marinen Bildungen zur Muschelkalkzeit.

Die Bildungsgeschichte mariner Ablagerungen sich vorzustellen, macht dem Geologen viel weniger Schwierigkeiten, da er mit ihrem Charakter durch das Studium der meisten übrigen Formationen bekannt ist. Dass die Schichten des Muschelkalkes marine Bildungen sind, darüber herrscht kein Zweifel, aber wir müssen uns zugleich darüber klar sein, dass es nicht Sedimente des offenen Oceans sind, sondern diejenigen eines weiten Binnenmeeres, in welchem eigenartige Verhältnisse bezüglich der Ablagerungen, wie der Lebewelt herrschten.

Verbreitungsgebiet.

Ehe wir jedoch darauf näher eingehen, haben wir einen Blick auf die geographische Verbreitung dieser Formation zu werfen. Hierbei machen wir zunächst die Beobachtung, dass das Muschelkalkgebiet vollständig in dasjenige des Buntsandsteines hineinfällt: es ist keine Gegend bekannt, wo der Muschelkalk transgredierend über den Buntsandstein sich auf älteres Gebirge auflagert. Ebenso beobachten wir stets einen Übergang von den äolischen Bildungen des Hauptbuntsandsteines zu den marinen Mergeln und Kalken des Muschelkalkes durch die paralischen Bildungen des Röttes. Der Muschelkalk erscheint demnach stets als eine normale Fortsetzung des Schichtengefüges ohne irgendwelche Transgressionen, welche auf bedeutendere Niveauveränderungen hinweisen würden. Im grössten Missklang steht diese Thatsache, wie bereits hervorgehoben, mit der BORNEMANN'schen Theorie, dass Buntsandstein und Muschelkalk nur Faciesgebilde ein und desselben Meeres resp. dessen Küste wären.

Wir beobachten aber nicht nur keine Transgression des Muschelkalkes über den Buntsandstein, sondern können im Gegenteil feststellen, dass die Schichten des Muschelkalkes in einem grossen Teile des Verbreitungsgebietes des Buntsandsteines fehlen, d. h. dass die Ausdehnung des Meeresbeckens zur Muschelkalkzeit nicht das ganze Wüstengebiet des Buntsandsteines umfasste. Während nämlich der Buntsandstein weit über die Grenzen Deutschlands nach England und dem grössten Teil von Frankreich hinausgreift, beschränkt sich der Muschelkalk fast ausschliesslich auf deutsche Gebiete. „Der *Ceratites nodosus* gehört, wie L. v. BUCH bemerkt, in das deutsche Wappen aufgenommen.“

In England und dem Nordwesten von Frankreich fehlt der Muschelkalk vollständig als marine Facies. Seine Grenzen in Gestalt typischer Küstengebilde finden wir an den Ardennen im Luxemburger Triasgebiet¹. Im weiteren Verlaufe in Lothringen und dem angrenzenden Teile von Frankreich ist zwar die äusserste Begrenzung des Muschelkalkes durch die darüber liegenden jüngeren Formationen verdeckt, aber sie scheint nicht allzuferne der deutschen Grenze im westlichen Frankreich zu liegen. Weiter südlich beobachtet man an der Ost- und Westseite des französischen Centralplateaus ein allmähliches Auskeilen des Muschelkalkes, so dass wir auch dort der Küste nahe zu sein scheinen. Es ist nun sehr auffallend, dass sowohl auf dem Südabfall des krystallinischen Centralplateaus in dem Dép. de l'Hérault, als auf der anderen Seite der Rhône-Mündung im Dép. du Var noch einmal echter Muschelkalk auftritt. Es ist nach seiner Fossilführung oberer Muschelkalk und wir werden sehen, welche Bedeutung diesem Vorkommnis, das einen schmalen, gegen Süden oder Südwesten gerichteten Meeresarm des oberen Muschelkalkmeeres voraussetzt, für die Bildungsgeschichte dieser Ablagerungen zukommt.

Zur typischen, germanischen Muschelkalkfacies ist wiederum der Norden des Schweizer Juragebirges zu zählen und es bleibt dahingestellt, wie weit hier diese Formation unter der Juradecke sich ausdehnt. An der für das Triasgebiet angenommenen Küstenlinie vom Schwarzwald bis zu den böhmischen Gebirgen und weiterhin nach Osten ist die Beobachtung sehr erschwert, denn einerseits ist der Muschelkalk von jüngeren Formationen bedeckt, wie in Schwaben

¹ Benecke, W., Über die Trias in Elsass-Lothringen und Luxemburg: Abh. d. geol. Specialkarte von Elsass-Lothringen. Bd. I. 1877. Heft IV. S. 709.

und Franken, anderseits ist die Muschelkalkdecke selbst abgetragen, so dass nur der Buntsandstein übrig geblieben ist, so am Erzgebirge, Riesengebirge und den Sudeten. Nur in den Auswürflingen der Vulkane unserer schwäbischen Alb¹, wie in den Überschiebungsbreccien des Rieses haben wir eine Andeutung davon, dass in diesen Gebieten zwar noch Buntsandstein in der Tiefe unter dem Jura sicher vorhanden ist, der Muschelkalk dagegen entweder ganz zu fehlen oder doch nur sehr schwach entwickelt scheint. Gegen Norden ist die Ausdehnung des gesamten Muschelkalkes bis Helgoland erwiesen², ebenso wie die isolierten Punkte bei Lüneburg und Rüdersdorf auf eine allgemeine Verbreitung des Muschelkalkes in der norddeutschen Tiefebene hinweisen.

Inwieweit einzelne Gebirgsstöcke als Insel über das Muschelkalkmeer hervorragten, ist immer schwierig und unsicher zu entscheiden. Vom Harz ist es mit einiger Sicherheit anzunehmen, ebenso wie die verschiedenartige und nur mit den südlichen, nicht aber mit den östlichen Gebieten in Einklang stehende Entwicklung in der Eifel dafür spricht, dass dort eine Scheidewand zwischen Westen und Osten war; es würde demnach anzunehmen sein, dass wenigstens einzelne Teile des Hundsrück, Taunus, Westerwaldes und Sauerlandes nicht vom Meere bedeckt waren. Sicher ist dagegen im Schwarzwald und den Vogesen eine Decke von Muschelkalk über den Buntsandsteingebieten und wohl weit noch über das heutige, durch Denudation entblösste krystalline Gebirge wegreifend anzunehmen; die Hardt, der Odenwald und Spessart, ebenso wie das ganze Thüringer Land, den Thüringer Wald nicht ausgenommen, waren alle von mächtigen zusammenhängenden Muschelkalkschichten bedeckt, deren Verband erst später durch Dislokationen und Abwaschungen gelöst wurde.

Gesteinsausbildung.

Der Gesteinscharakter des Muschelkalkes ist im grossen Ganzen derjenige einer marinen Bildung. Kalksteine und Thone z. T. mit dolomitischer Beimengung wiegen vor, doch fehlt es an jenen echt marinen, d. h. oceanischen Gesteinsarten, z. B. dem reinen zoogenen Kalkstein und Dolomit der Riffacies, ebenso wie an Tiefseeablagerungen. In geradezu staunenerregender Gleichmässigkeit finden

¹ Branco. Schwabens 125 Vulkan-Embryonen. Diese Jahresh. 1894. S. 567.

² Dames. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wissensch. z. Berlin. Phys.-math. Kl. 1893. L. S. 1019.

wir auf weite Strecken dieselben Gesteinsarten als feste geologische Horizonte entwickelt; Thone und Kalkmergel oder dolomitische Mergel treten in enge Wechsellagerung mit Kalk oder Dolomitbänken, nur untergeordnet sind lokale Ausbildungen, wie Muschelsandsteine, Schaumkalke, Gipse und Anhydrite, sowie Steinsalz zu finden. Bekanntlich wird nach der lithologischen Entwicklung der Muschelkalk in drei Abteilungen gegliedert, den unteren Muschelkalk oder das Wellengebirge, den mittleren Muschelkalk oder Salzgebirge und den oberen Muschelkalk oder Hauptmuschelkalk und wir müssen zunächst diese drei Glieder bezüglich ihres Gesteinscharakters etwas genauer prüfen.

Der untere Muschelkalk oder das Wellengebirge. Was bei uns in Schwaben und ebenso in dem grössten Teile des Muschelkalkgebietes an der Grenze von Röt und Muschelkalk am meisten in die Augen fällt, ist der prägnante Farbenwechsel. Dort noch die im Buntsandstein, wie im Rotliegenden vorherrschende Rotfärbung, hier lichte gelbe und graue Töne. Es kann kaum einem Zweifel unterliegen, dass dieser Farbenwechsel auf den Einfluss des Meerwassers zurückzuführen ist, denn allgemein machen wir die Erfahrung, dass mit dem Auftreten der hellen Färbung eine marine Fauna sich einstellt; ganz besonders charakteristisch ist dies in jenen östlichen Gegenden (Schlesien), wo die marine Facies bereits tief in das Röt hinabgreift und wo wir Hand in Hand damit gehend, auch ein Verschwinden der roten Färbung verfolgen können, umgekehrt wie wir in den äussersten westlichen Zonen, z. B. im Saargebiet, wohin das marine Element langsamer vordrang, noch Rotfärbung auch im unteren Wellengebirge beobachten.

Das Gestein in den tieferen Horizonten trägt einen ausgesprochenen dolomitischen Charakter, wie er sich schon allmählich in den oberen Schichten des Röttes einstellt. Gehen wir von den Verhältnissen in Württemberg aus, so können wir leicht beobachten¹, dass die Schichten im Westen des Landes, also im Schwarzwaldgebiet, viel dolomitischer sind als im Osten. Verfolgen wir die Ablagerungen weiterhin nach Westen, so greift die dolomitische Facies immer höher in dem Schichtenkomplex nach oben und geht im unteren Teile in eine ausgesprochene Sandfacies, den Muschelsandstein, über. Es kann kaum einem Zweifel unterliegen, dass wir in dem Muschelsandsteine der Rheinpfalz, dem

¹ Vergl. E. Fraas, Begleitworte zu Atlasblatt Freudenstadt, 1894. S. 29.

Saar- und Moselgebiete und von Elsass-Lothringen eine Uferfacies zu sehen haben und dafür spricht auch die analoge sandige Ausbildung am Rande des Fichtelgebirges bei Bayreuth. An diesen Küstengürtel reiht sich eine breite Zone mit vorwiegend dolomitischer Facies an, welche wir für eine Bildung in den flachen litoralen Seegebieten halten. Verfolgen wir die Dolomitfacies nach Osten, so sehen wir, dass dieselbe in immer tiefere Horizonte hinabgreift, bis sie schliesslich in Nieder- und Oberschlesien im Röt liegt, während dort der untere Muschelkalk bereits mit Kalkfacies beginnt.

Auf den dolomitischen Mergeln und Kalken folgt eine echte Kalkfacies, bestehend aus Kalkmergeln und dünnbankigen grauen Kalken, welche nicht selten in inniger Wechsellagerung zu einander treten und wodurch offenbar jene eigenartig wellige Struktur der Schichten hervorgerufen wird¹, welche wir als Wellenkalk bezeichnen. Bei der Kalkfacies lässt sich beobachten, dass dieselbe vorzüglich die Zonen inne hält, welche weit vom Ufer entfernt waren, oder in welchen das Meer eine grössere Tiefe erreichte. Im Westen vom Rheinthale ist dieselbe nur gering oder überhaupt nicht entwickelt, in Schwaben finden wir eine stetige Zunahme von Südwesten gegen Nordosten, in Franken und Thüringen ist die Kalkfacies überhaupt die dominierende und umfasst nahezu das ganze Wellengebirge.

Einen petrographischen Wechsel, verbunden mit dem Auftreten neuer Horizonte, treffen wir gegen das Ende dieser Formationsperiode, indem sich wiederum von Osten nach Westen transgredierend dolomitische Facies mit Einlagerung von Schaumkalke einstellt. Diese eigenartigen, porösen, dolomitischen Kalke dürften auch wohl als litorale Gebilde aufzufassen sein und ihren Charakter der sekundären Auslaugung löslicher Salze, die ursprünglich den thonigen Beimengungen eigen waren, verdanken. Die überaus petrefaktenreichen Schaumkalke bilden vorzügliche Horizonte im oberen Wellengebirge von Schlesien, Rüdersdorf und Thüringen und greifen weit nach Westen vor, ändern dabei aber ihren petrographischen Charakter und gehen in eine poröse Muschelbreccie über. Betrachten

¹ Ich halte die Wellenkalke demnach für keine primäre Bildung, welche etwa mit den Rippelmarken zu vergleichen wäre, sondern lediglich für eine Druckerscheinung, hervorgerufen durch die gleichmässige und enge Wechsellagerung von Kalk- und Thonbänken. Dabei ist jedoch nicht an einen seitlich wirkenden Druck, sondern nur an eine vertikale Zusammenpressung durch den Schichtendruck zu denken.

wir die dolomitische Facies als eine Bildung in seichterem Wasser als die Kalkfacies, so können wir aus der Verbreitung auf ein Vorschreiten dieser litoralen Bildung von Osten nach Westen, d. h. einer positiven Bewegung des Meeres von Osten nach Westen schliessen. Den Abschluss des unteren Muschelkalkes finden wir in einem überaus charakteristischen Horizonte von glatten, dünnbankigen Kalken oder Dolomiten mit viel Mergeleinlagen, palaeontologisch gekennzeichnet durch die *Myophoria orbicularis*.

Die Mächtigkeit des unteren Muschelkalkes ist eine schwankende, einerseits durch Anschwellen der oberen dolomitischen Zone im Osten, andererseits durch die verschiedene Entwicklung der Kalkfacies im centralen und der unteren Dolomit- resp. Sandfacies im westlichen Gebiete. Im ganzen lässt sich beobachten, dass die Mächtigkeit von Osten nach Westen abnimmt; wir finden in Schlesien 170 m, in Rüdersdorf 168 m, im nördlichen Thüringen 90—95 m, in Süd-Thüringen 75 m, in Franken 70 m, am unteren Neckar 80 bis 90 m, bei Freudenstadt 63 m, im südlichen Schwarzwald 45 m, im Elsass 54 m, bei Trier 60—80 m und in der Eifel 30—40 m.

Der mittlere Muschelkalk oder das Anhydritgebirge. Ein ausgesprochener Facieswechsel in der Gesteinsausbildung, der sich über den Schichten der *Myophoria orbicularis* einstellt, hat Veranlassung gegeben zur Abtrennung einer Abteilung der Muschelkalkformation. Alle Kalkgesteine nehmen hier plötzlich ein Ende und an ihre Stelle treten dolomitische Gesteine, teils in Form von weichem mergeligen Dolomit, teils als Zellendolomit ausgebildet, der seine Natur offenbar späteren Auslaugungen leicht löslicher Mineralien verdankt. Zugleich wird eine ausserordentliche Petrefaktenarmut bemerkbar. Als besonders charakteristische Erscheinungen sind die Ablagerungen von Steinsalz, Anhydrit und Gips zu nennen, welche in Süddeutschland, der Nordwestecke der Schweiz, sowie in Thüringen und sonstigen Gegenden Norddeutschlands auftreten. Das Auftreten dieser Mineralien und speciell das des Steinsalzes ist kein allgemein verbreitetes, sondern auf einzelne Distrikte beschränkt. Besonders deutlich tritt dies in Württemberg hervor, wo wir verhältnismässig ungestörte Lagerungsverhältnisse haben. Hier zieht sich eine kaum 8 km breite Zunge von Steinsalz von NW. nach SO.; sie beginnt bei Rappenaun und Wimpfen, streicht unter Heilbronn und südlich Öhringen weg auf Wilhelmsglück zu. Diese schmale Zunge fällt zusammen mit der Synklinale einer Schichtenmulde, welche sich zwischen dem Lauffen-Welzheimer

Sattel einerseits, der Ingelfinger-Vellberger Schichtenwölbung anderseits befindet. Ebenso findet sich im oberen Neckargebiet, in der Mulde zwischen Schwarzwald und Alb, Steinsalz und Salzthon. Es macht den Eindruck, als ob diese Mulden, welche sich allerdings später durch tektonische Störungen noch weiter ausgestaltet haben, bereits in der Triaszeit vorgebildet gewesen wären. Die Ansicht von ENDRISS¹, als ob das Steinsalz ursprünglich eine allgemeine Verbreitung gehabt habe und nur durch spätere Auslaugung auf die wenigen Punkte beschränkt worden wäre, ist nicht erwiesen, und steht im Gegensatz zu den vielfachen Beobachtungen, welche sich in unseren Salinen machen lassen. Die Begleiter des Salzes und Salzthones sind Anhydrit und Gips, und diese Ablagerungen zusammen finden sich stets im unteren Teile des mittleren Muschelkalkes, während der obere Teil sich aus Dolomiten zusammensetzt. Nur der Gips hat eine weitere Verbreitung und tritt in Stöcken oder mächtigen Einlagerungen in allen Regionen dieser Formation auf. Auf die Auslaugungen von Gips und untergeordnet von Salzthon sind auch die Zellendolomite zurückzuführen².

Im Reichslande³ finden wir eine ganz eigenartige Facies des mittleren Muschelkalkes in Gestalt von bunten, vorwiegend roten Thonen mit Einlagerungen von Gips und dünnen eingeschalteten Sandsteinbänkchen. Diese an die Gesteine des Keupers erinnernden Ablagerungen sind zweifelsohne als die Küstengebilde unserer mittleren Muschelkalkfacies zu betrachten.

J. WALTHER⁴ betont mit vollem Recht in seiner Lithogenesis

¹ Endriss, K., Die Steinsalzformation im mittleren Muschelkalk Württembergs. Stuttgart 1898.

² Diese eigenartige Bildung der Zellendolomite kehrt in verschiedenen Horizonten des Muschelkalkes, der Lettenkohle und auch noch im unteren Keuper wieder. Ich halte es für eine sekundäre, resp. tertiäre Bildung. Das offenbar sehr lockere und aus harten und weichen Gesteinsarten wechsellagernd aufgebaute Schichtenmaterial unterlag dem späteren Schichtendruck und wurde zu einer Breccie zusammengepresst, wie sie sich noch häufig in der Tiefe findet (vergl. auch Endriss l. c. S. 23 u. ff.). Sekundär würde die Breccie durch Kalk und dolomitische Infiltration verfestigt und später unter Einwirkung der Atmosphären wurde das weiche, thonige, gipsige und salzige Material ausgelaut, so dass als letzter Überrest nur das infiltrierte Bindemittel, d. h. die Umrandung der einzelnen Fragmente gleichsam als Skelett übrig blieb.

³ Benecke, W., Abriss der Geologie von Elsass-Lothringen. Strassburg 1878. S. 51.

⁴ Walther, J., Einleitung in die Geologie als historische Wissenschaft, III. Teil, Lithogenesis der Gegenwart. Jena 1894.

(S. 785) die Haltlosigkeit der sogen. „Barrentheorie“ für die Erklärung von mächtigen fossilen Salzlagern und weist nach, dass wir hierbei in erster Linie an abflusslose Seen, resp. Meerengebiete unter dem Einfluss eines heissen Klimas zu denken haben. Auch bezüglich der Bildung des mittleren Muschelkalkes stimmt alles dahin überein, dass wir dieselbe als ein Absatzprodukt eines übersalzenen Binnensees resp. Binnenmeeres zu deuten haben. Der Magnesiumgehalt des Gesteines erklärt sich am leichtesten aus der Ausfällung einer übersättigten Lösung, welche dadurch entstand, dass das germanische Triasmeer vom offenen Ocean abgeschnürt wurde und durch Verdampfung einer Übersättigung entgegenging. Die gesättigten Salzsolen zogen sich am meisten nach den tiefsten Punkten des Meeres und kamen dort bei weiterer Verdampfung und dadurch bedingter Übersättigung zum Ausfällen. Nur dort konnte sich auch der schwefelsaure Kalk als Anhydrit ausscheiden, während er sonst gewöhnlich als Gips zum Niederschlag kam. Das in derartigen Salzseen reichlich vorhandene Chlormagnesium¹ und die schwefelsaure Magnesia verband sich mit dem kohlsauren Kalk und trug zur Dolomitbildung bei. Auch der rasche Schwund der Fauna erklärt sich leicht und ungewungen bei der Annahme eines übersättigten Salzsees. Die Tierwelt konnte sich nur noch an den durch Einfluss von Süßwasser weniger ungeniessbaren Küstengebieten erhalten und beschränkt sich auch dort nur auf wenige Formen.

Die Gegend, wo die Abschnürung des Triasmeeres vom offenen Ocean vor sich ging, haben wir im Osten zu suchen. Von dort her kam zwar die erste Einströmung des Meereswassers nach dem Depressionsgebiete zur Zeit des Röttes, aber dort beobachten wir auch im oberen Wellengebirge eine Hebung der Küste und des Meeresgrundes, gekennzeichnet durch eine litorale Dolomit- und Schaumkalkfácies. Dieselbe kontinentale Bewegung hielt während des mittleren Muschelkalkes an und bewirkte im Südwesten die tiefsten Senkungen des Meeresbodens, welche dort ebenso, wie in einigen lokalen Buchten Thüringens, die Ablagerung von Steinsalz und Anhydrit begünstigte, während im übrigen Teile des Binnensees nur ein Schlamm von Thon mit Magnesia- und Kalk-Karbonaten, teilweise mit Gips und Salzthonen vermischt, zum Niederschlag kam.

Auch die Mächtigkeitsverhältnisse widersprechen dieser An-

¹ Dasselbe beträgt z. B. im Baskuntschasee, am linken Ufer der Wolga (J. Walther, Lithogenesis, S. 787), 20—22%, im Eltonsee (Kaspibecken) 10—19%

nahme nicht, indem dieselben in Südwestdeutschland mit 80—90 m am mächtigsten erscheinen und nach Norden und Osten allmählich abnehmen.

Der obere Muschelkalk oder Hauptmuschelkalk. Bezüglich seiner Gesteinsausbildung zeigt der obere Muschelkalk eine erstaunliche Einförmigkeit und Gleichartigkeit. Fast gänzlich unvermittelt tritt nach der Salz- und Dolomitfacies des mittleren Muschelkalkes eine ausgesprochene Kalkmergelfacies auf, welche den Hauptmuschelkalk charakterisiert. In ungezählter Wechsellagerung wiederholen sich graue thonige Kalkbänke und mehr oder minder dicke Mergelagen, so dass bald die Kalke, bald das thonige Material die Oberhand gewinnt. Zuweilen lassen sich die Kalke als typische zoogene Kalke erkennen, entweder aus zahllosen Resten von Crinoiden (Trochitenkalk) oder aus Schalen von Bivalven oder Brachiopoden (Lumachellen) bestehend. Zweifellos sicher ist unter allen Umständen der marine Charakter dieser Facies nicht allein wegen des Kalkes, sondern vor allem wegen der zahllosen echt marinen Fossilien. Bekanntlich unterscheidet man im Hauptmuschelkalk einen unteren encrinitenführenden Horizont mit vorwiegend dickbankigen, spätigen Kalkschichten und zurücktretendem Thon und einen oberen ceratitenführenden Horizont mit mergeligen Brockelkalken.

Erst an der oberen Grenze des Hauptmuschelkalkes wechselt der petrographische Charakter, indem sich hier eine ausgesprochene Dolomitfacies einstellt, zugleich mit einem Schwund vieler mariner Muschelkalktiere und dem Auftreten einiger neuen Arten. Es ist dies der nach dem Vorkommen von *Trigonodus Sandbergeri* benannte *Trigonodus-Dolomit*.

Von besonderer Wichtigkeit für die Entstehungsgeschichte ist einerseits die bereits erwähnte Thatsache, dass wir im Hauptmuschelkalk zweifellos marinen oceanischen Einfluss feststellen können und andererseits die Mächtigkeitsverhältnisse dieser Formation. Im Gegensatz zum unteren Muschelkalk, welcher im Osten am stärksten und schönsten entwickelt war, beobachten wir im oberen Muschelkalk die mächtigste und schönste Entwicklung im Süden und Südwesten und eine stetige Abnahme gegen Osten.

Von rein lithologischem Gesichtspunkt betrachtet, können wir einen Einfluss mariner Sedimente und gesteigerte Materialzufuhr von Südwesten her feststellen, welche gegen Norden und Osten hin sich abschwächt und allmählich verliert. Die obersten Schichten, der *Trigonodus-Dolomit*, leitet

bereits wieder entweder eine litorale Facies oder eine Abschnürung vom offenen Ocean und Umwandlung in eine Binnenmeerfacies ein.

Versteinerungen.

Wir haben bisher die Fauna und Flora des Muschelkalkes unberücksichtigt gelassen und haben nun auch diese etwas näher zu untersuchen und auf ihre Bedeutung für die Entstehungsgeschichte zu prüfen. Die biologischen Gesichtspunkte, welche hierbei leitend sind, hat J. WALTHER¹ in ausführlicher Weise zusammengestellt und begründet, ja seine Beispiele nicht selten gerade in der Muschelkalkfacies gesucht.

Das Plankton, d. h. die passiv im Wasser treibenden Organismen, kommt nicht in Frage, da die Tiere aus dieser Gruppe im allgemeinen nicht fossil erhalten sind und im Muschelkalk noch nicht beobachtet wurden.

Für unsere Betrachtung spielt die Hauptrolle das Benthos (*τὸ βενθος*, der Meeresgrund), worunter die am Meeresboden festgewachsene (sessiles Benthos) oder umherkriechende (vagiles Benthos) Tier- und Pflanzenwelt verstanden wird². Unter dem sessilen Benthos vermissen wir auffallenderweise die Korallen, Spongien, Hydroiden und Bryozoen, welche im Ocean einen Hauptanteil am Aufbau der Schichten nehmen, nahezu gänzlich, denn die so überaus seltenen Korallen können wir füglich als Irrgäste betrachten und die sogen. Hornspongie, *Rhizocorallium jenense*, führt auch noch ein problematisches Dasein. Von grosser Wichtigkeit dagegen sind die Seelilien und speciell das Geschlecht der Encrinidae, ohne dass es eigentlich zu einer reichen genetischen Entfaltung kommt, ist doch die Verbreitung und Massenhaftigkeit erstaunlich gross. Die oft mehrere Meter mächtigen Encrinitenbänke weisen darauf hin, dass zuweilen der ganze Meeresboden in einen Crinoidenwald von immenser Ausdehnung verwandelt war. Die Encriniten sind echt oceanische Formen und leicht lässt sich im unteren Muschelkalk ihr Eindringen

¹ J. Walther, Einleitung in die Geologie als historische Wissenschaft. Jena 1893/94. — Über die Lebensweise fossiler Meerestiere. Zeitschr. d. deutsch. geol. Ges. 1897. S. 209 ff.

² Es möge nur kurz darauf hingewiesen sein, dass die rasche und weite Verbreitung des Benthos auf die als „Meroplankton“ (teilweise umherirrend) sich im Wasser umhertreibenden Schwärme von Larvenstadien der später benthonischen Tiere zurückzuführen ist. Dieses Stadium erklärt auch das plötzliche lokale Auftreten von Unmengen ein und derselben Art.

von Osten her feststellen. In Schlesien finden wir denn auch die reichste Entfaltung, im unteren Wellengebirge von meist kleinen, nur 10armigen Arten, zu welchen sich im oberen Wellengebirge der schöne 20armige *Encrinus Carnalli* gesellt. *Encrinus liliiformis* ist die dauerhafteste Art, welche, wenn auch spärlich, im ganzen unteren Muschelkalk gefunden wird, dagegen seine eigentliche Entfaltung im oberen Muschelkalk zeigt und zwar in der kalkigen Tiefenzone des westlichen und südlichen Deutschlands. Zum sessilen Benthos gehören auch die kleinen Kalkröhren diploporer Algen (*Gyroporella*), welche in dem alpinen Muschelkalk eine ausserordentliche Rolle spielen; sie konnten im germanischen Triasmeer nicht Fuss fassen und beschränken sich auf einen kleinen Bezirk im oberen Wellengebirge Oberschlesiens und treten nur noch ganz untergeordnet im mittleren Muschelkalk von Elsass-Lothringen auf.

Einen gewissen Übergang von sessilen in den vagilen Benthos bilden die für den Muschelkalk wichtigen Brachiopoden. Unter ihnen ist *Terebratula vulgaris* weitaus die häufigste und verbreitetste Form; ihr sagten offenbar die klimatischen und sonstigen Verhältnisse überaus zu und nicht nur unzählige Massen dieser Tiere bevölkerten den Meeresboden, sondern es lassen sich auch Schwankungen der Art, d. h. entwicklungsgeschichtliche Verschiedenheiten, beobachten. Sie geht vom unteren bis zum obersten Muschelkalk durch und erfüllt nicht selten in bestimmt charakterisierter Varietät einzelne Horizonte; sie bildet zugleich ein gutes Beispiel (vergl. WALTHER, Über die Lebensweise fossiler Meerestiere, l. c. S. 224) für die Wanderungen und das unvermittelte Auftreten benthonischer Tiere durch Vermittelung ihrer als Meroplankton umher schwärmenden Larven. *Terebratula vulgaris* wurde bis jetzt im mittleren Muschelkalk noch nicht gefunden und es ist deshalb nicht wahrscheinlich, dass die Formen des oberen Muschelkalkes direkt von denen des Wellengebirges abstammen. Andererseits beobachten wir, dass die oceanische (alpine) *T. vulgaris* meist klein ist und dass ebenso die Arten des unteren Wellengebirges (*T. Eckii*) meist klein sind und sich erst gegen oben zu den grossen „fetten“ Varietäten entwickeln, dass dann ebenso im Hauptmuschelkalk zunächst kleine Varietäten auftreten, während erst in den oberen Schichten (Hauptterebratelbank) die grossen Exemplare herrschend werden. Es würde dies auf eine zweimalige Einwanderung aus dem Ocean hinweisen.

Leitfossilien von noch grösserer Wichtigkeit sind die Spiriferinen (*Sp. fragilis*). Auffallend ist, dass diese Art nur auf einen

Horizont im unteren und einen im oberen Muschelkalk beschränkt ist, und dass dieser Horizont in beiden Fällen eine Grenzbank sowohl in der petrographischen wie faunistischen Facies bedeutet. Es lässt sich wohl nur damit erklären, dass in beiden Horizonten zugleich mit einer veränderten oceanischen Einströmung Schwärme von Larven in das germanische Triasmeer eingeführt wurden, welche zwar zur Entwicklung, aber zu keiner Fortpflanzung kamen. Als Irrgäste aus dem Ocean, welche nur im Schaumkalke Oberschlesiens zur wirklichen Entwicklung kamen, sonst aber nur ganz sporadisches und lokalisiertes Auftreten zeigen, sind noch eine Anzahl anderer Brachiopodenarten zu nennen, so *Spiriferina hirsuta* und *Menzelii*, *Retzia trigonella*, *Rhynchonella decurtata* und *Waldheimia angusta*.

Die Muscheln oder Lamellibranchiaten schliessen sich bald dem sessilen Benthos an, insofern sie aufgewachsen oder mit Byssusfäden am Untergrunde befestigt sind, wie *Ostrea*, *Pecten*, *Lima*, *Mytilus* und *Gervillia* oder sie sind zum vagilen Benthos zu zählen, falls sie auf dem Meeresgrunde sich fortbewegen können, wie *Myophoria*, *Corbula*, *Lucina*, *Venus*, *Mya* u. a. Auf die einzelnen Formen der Lamellibranchiaten näher einzugehen, würde zu weit führen und es möge eine kurze Charakteristik genügen. Im allgemeinen fällt bei vielen Gruppen die glatte Schale, d. h. der Mangel von Verzierung auf. Nur die Ostreen tragen den scharfgerippten *Alcetryonia*-Typus, auch *Hinnites comptus* ist zuweilen stark gefaltet, aber alle anderen Pectiniden sind glatt. Die Limiden sind mehr oder minder stark gerippt. Unter den Gervillien giebt es zwar einige gerippte Arten, aber die Hauptform *Gervillia socialis* ist ohne Verzierung; *Myophoria vulgaris* und *elegans* zeigen eine schöne verzierte Schale und ebenso sind *Myoph. fallax* und *Goldfussi* gerippt, alle anderen Arten sind glatt. Ausschliesslich glatte Schalen kommen ferner den *Nucula*-, *Arca*-, *Lucina*- und *Mya*-Arten zu. Eine weitere allgemeine Eigenschaft ist die Dünnschaligkeit der Muscheln; nur die Myophorien zeigen eine etwas dickere Schalenbildung, welche aber bekanntlich der ganzen Gruppe der Trigoniden eigen ist. Die im Muschelkalk auftretenden Arten der Muscheln gehören ausschliesslich der litoralen Fauna an und zwar scheinen es meist Bewohner des Schlammgrundes, nicht des felsigen Bodens gewesen zu sein, wir finden sie wenigstens meistens im Mergel oder innerhalb der thonigen Kalkbänke eingeschlossen.

Unter allen im Muschelkalk auftretenden Tiergruppen zeigen die Lamellibranchiaten die grösste Individuenzahl und Formenfülle,

trotzdem sind sie als Leitfossile nur wenig zu gebrauchen, da die meisten Arten durch alle Horizonte des unteren und oberen Muschelkalkes durchgehen und sich in den östlichen Gebieten auch im mittleren Muschelkalk vorfinden. Immerhin lassen sich auch hier Beobachtungen teils über die Entwicklung und das Aussterben einzelner Arten machen, welche am übersichtlichsten aus der beigefügten Zusammenstellung der Fauna hervorgehen. Nur wenig möge hier hervorgehoben sein.

Die Ostreiden zeigen eine langsame stetige Verbreitung im unteren Muschelkalk, ein überaus üppiges Gedeihen dagegen im oberen Muschelkalk, ohne dass jedoch eine Einwanderung neuer Arten zu beobachten wäre. Unter den Limiden sind die schwachgerippten Arten *Lima lineata* und *radiata* für den unteren Muschelkalk leitend, während die scharfrrippigen Arten (*L. regularis*) zurücktreten; im oberen Muschelkalk tritt sofort die scharfrippige *Lima striata* in ungeheurer Menge auf, während die Formen des unteren Muschelkalkes fehlen. Es scheint hier ein Aussterben der schwachgerippten und Einwanderung der scharfrippigen Art stattgefunden zu haben. *Hinnites comptus* fehlt dem unteren Muschelkalk fast gänzlich, während er sofort im Hauptmuschelkalk in Masse und in prächtiger Entwicklung auftritt. Unter den Pectiniden scheinen die kleinen glatten Arten durchzugehen, während der grosse *Pecten laevigatus* im oberen Muschelkalk eingewandert erscheint. Auch bei den Gervillien machen wir die Beobachtung, dass zwar einzelne kleine Arten des Wellengebirges (*G. subglobosa*) aussterben, andere dagegen, und darunter die häufige *G. socialis*, fast unverändert persistieren. Besonders interessant ist das formenreiche Geschlecht der Myophorien. Die scharfgerippte *Myophoria costata* ist überhaupt auf das Röt beschränkt; die glatten Arten entwickeln sich im Wellengebirge überaus stattlich und geben mit geringen Ausnahmen (*M. orbicularis*) durch den ganzen Muschelkalk durch; dasselbe gilt von *M. vulgaris*, von welcher sich im unteren Muschelkalk eine kleine hochgewölbte Varietät als *M. cardissoides* abtrennen lässt. Als neue Arten stellen sich im oberen Muschelkalk die grosse *M. pes anseris* und die mit der *M. costata* verwandte *M. Goldfussi* ein, deren Entwicklung offenbar nicht in die germanische Triasprovinz fällt. Die übrigen Lamellibranchiaten, unter welchen besonders die dünnschaligen Myaciten (*Pleuromya*, *Anoplophora*, *Panopaea*) durch Häufigkeit sich auszeichnen, bieten wegen ihrer indifferenten Schalenbildung für unsere Untersuchungen weniger Interesse (vergl. im übrigen die Tabelle S. 75).

Die Gasteropoden oder Schnecken, welche, abgesehen von *Dentalium*, ausschliesslich zum vagilen Benthos gehören, sind für unsere Studien von geringem Interesse. Die im Schlamm lebende Art *Dentalium* geht durch den ganzen Muschelkalk hindurch, ebenso wie die meisten anderen Arten. Wie unter den Muscheln, überwiegen auch bei den Schnecken die dünnschaligen glatten Arten; sie weisen auf ein Leben im ruhigen Wasser der litoralen schlammigen Zone hin. Abgesehen von kleinen *Natica*- und *Nerita*-Arten finden sich viele und schöne Vertreter unter der Gruppe der Pyramidellen (*Loxonema* oder *Chemnitzia*), von welchen jedoch leider meist nur die Steinkerne erhalten sind.

Von der grössten Wichtigkeit als Leitfossile sind im Muschelkalk, wie in anderen Formationen die Cephalopoden und zwar speciell die Ammonitiden. Ihr offenbar sehr leicht bewegliches, aber doch benthonisches Leben, wozu sich noch die Verschleppung der schwimmenden leeren Gehäuse gesellt, sowie die rasche Formenveränderung der Schalen machen sie besonders geeignet, die Rolle von guten Leitfossilien zu übernehmen.

Von dem Vertreter der Nautiliden, *Nautilus bidorsatus*, können wir absehen, derselbe geht mit geringer Variabilität gleichmässig durch alle Schichten des Muschelkalkes durch. Anders die Ammonitiden; ihre Heimat und ihre Entwicklungssphäre liegt freilich in dem offenen Ocean und von den zahllosen prächtigen Formen, wie wir sie aus der alpinen Trias kennen, haben sich nur wenige in das germanische Muschelkalkmeer verirrt und noch weniger von diesen kamen dort zur eigentlichen Entwicklung und Entfaltung. Aber auch die sparsamen Überreste sind wegen ihrer Beschränkung auf bestimmte, vertikal eng begrenzte Horizonte von Wichtigkeit.

Bereits im Röt der östlichen und nordöstlichen Bezirke der germanischen Trias finden wir einen Ammoniten aus der Gruppe der Pinacoceraten, die *Beneckeia (Ceratites) tenuis*, aus welcher sich innerhalb des germanischen Muschelkalkmeeres die bereits degenerierte, aber durch ihre allgemeine Verbreitung und Häufigkeit ausgezeichnete *Beneckeia (Ceratites) Buchii* entwickelte. Es ist dies die einzige Art des unteren Muschelkalkes, welche wenigstens auf einige Zeit Fuss fasste und in manchen Gegenden zu reichlicher Entwicklung kam. Die Verhältnisse waren aber offenbar sehr ungünstig, wie man an den zahllos als Brut abgestorbenen Schalenresten, die in keinem Verhältnis zu den seltenen ausgewachsenen Exemplaren stehen, erkennen kann und es blieb deshalb mehr oder

minder bei dem Versuche und die Gruppe verschwand noch im mittleren Wellengebirge.

Alle übrigen Formen des unteren Muschelkalkes gehören zu den grössten Seltenheiten und sind meist ausschliesslich auf die östlichen und nordöstlichen Gebiete beschränkt. Wenn sich trotzdem zuweilen ein Exemplar bis in unsere schwäbischen Gegenden verirrt hat, so liegt dabei entschieden der Gedanke an eine Verschleppung der toten schwimmenden Schalen näher, als an eine Wanderung des lebenden Tieres. So ist für die unterste Stufe des Wellengebirges bezeichnend *Hungarites Strombecki*, in höheren Schichten findet sich *Ceratites antecedens*, zu welchem sich im Osten noch einige weitere Arten (*Ptychites dux*, *Ottonis*, *Damesi*) gesellen.

Ganz anders gestalten sich die Verhältnisse im oberen Muschelkalk; nicht von Osten, sondern von Südwesten her wanderte hier eine neue Ammonitengruppe ein, welche sofort Boden fasste und zu einer überaus reichen Entfaltung kam; es ist die Gruppe des *Ceratites nodosus*. Die ursprüngliche Heimat dieses Ceratiten ist nicht bekannt, denn aus dem alpinen Meere stammt er wohl kaum, sonst müssten wir ihm dort viel häufiger begegnen¹, oder wenigstens seine nächsten Verwandten finden; das isolierte Vorkommen von typischem *Nodosus*-Kalk bei Toulon scheint vielmehr auf eine Einwanderung aus südlichen Distrikten, deren Ablagerungen nicht mehr erhalten oder noch nicht aufgefunden sind, zu sprechen. Dass *C. nodosus* von Südwesten her einwanderte und nicht von Osten, geht aus der Verbreitung dieses Fossiles hervor, die ebenso, wie die gesamte Formation der *Nodosus*-Kalke im Westen von Deutschland ihren Höhepunkt erreicht und sich ganz allmählich gegen Osten und Nordosten verliert. Während des ganzen oberen Hauptmuschelkalkes bleibt *Ceratites nodosus* in allen möglichen Varietäten das typische Leitfossil. Von derselben Richtung her wandert sodann mit Abschluss

¹ Wenn es auch Tornquist (Nachr. d. k. Ges. d. Wissensch. zu Göttingen, math.-phys. Kl. 1896. Heft 1 und Zeitschr. d. Deutsch. geol. Ges. 4. Bd. 1898. S. 209) gelungen ist, in den Buchensteiner Schichten von St. Ulderico im Tretto eine Fauna mit Ceratiten vom Typus des *Nodosus* aufzufinden, so lässt dieses beschränkte Vorkommen noch nicht den Schluss zu, dass dort die Heimat unserer Nodosen war; es beweist nur, dass damals im Vicentinischen analoge Lebensbedingungen herrschten, wie im germanischen Triasmeere und dass auch dort *C. nodosus* eine Zeitlang gedieh. Sehr wichtig ist und bleibt der Fund in stratigraphischer Hinsicht, da durch ihn die Gleichstellung der Buchensteiner Schichten mit dem ausseralpinen *Nodosus*-Kalk bewiesen ist.

des Muschelkalkes, kurz ehe die erneute Abschnürung erfolgte, eine neue charakteristische Art der *Ceratites semipartitus* ein, dessen Verbreitungsbezirk jedoch hinter dem des *C. nodosus* zurücksteht, obgleich auch diese Art zu ausserordentlich üppiger Entwicklung kam.

Wir können damit die Studien über den Benthos des Muschelkalkmeeres schliessen, denn die seltenen Echinodermen ebenso wie die Crustaceen sind ohne Bedeutung für das Gesamtbild.

Das Nekton, d. h. die aktiv im Meere schwimmende Tierwelt, ist, wie meist in den marinen Ablagerungen, sparsam vertreten, teils weil ihre Überreste nicht sehr erhaltungsfähig sind, teils weil sie überhaupt sparsamer vertreten waren. Zum Nekton gehören in erster Linie die Fische, unter welchen die beiden Haifischarten *Hybodus* und *Aerodus* am häufigsten sind; beide gehören ausgestorbenen Gruppen an, über deren Lebensweise wir nichts wissen, nur so viel lässt sich nach ihren Vorkommnissen annehmen, dass sie ausgesprochene Küstenbewohner waren. Die isolierten Zähne dieser Arten finden sich im ganzen Muschelkalk zerstreut. Interessanter ist die Gattung *Ceratodus*, welcher wir im Muschelkalk zum erstenmale begegnen. Der heute noch in den Flüssen von Queensland lebende „Barramundi“ (*Ceratodus Forsteri*) ist bekanntlich ein an das Zwitterleben im Süsswasser und auf dem Lande angepasster Lungenfisch, und es ist nicht ausgeschlossen, dass auch schon seine Ahnen in der Muschelkalkzeit ein ähnliches Leben an der Küste führten, und dass deshalb ihre Reste so sparsam in das Meer eingeführt wurden. Auffallend selten sind die Schuppen, Zähne und sonstigen Überreste von Ganoidfischen (*Gyrolepis*, *Colobodus* und *Saurichthys*), welche sich ohne bestimmten Horizont im ganzen Muschelkalk vorfinden.

Unter den Reptilien erkennen wir zunächst die Ichthyosaurier als echte Meeresbewohner, denn auch der entwicklungsgeschichtlich so wichtige *Mixosaurus atavus* des Wellengebirges war nicht mehr befähigt, das Festland zu betreten, und noch weniger die zwar äusserst seltenen echten Ichthyosaurier des Muschelkalkes. Ebenso stelle ich zu den Wasserbewohnern die im Muschelkalk auftretenden Nothosauriden; die Gestaltung ihrer Extremitäten ermöglichte ihnen zwar zweifellos die Bewegung auf dem Festland, aber anderseits deuten der lange schlanke Hals, der schwere, mit plumpen Rippen ausgestattete Rumpf und die stämmige kurze Form des Humerus entschieden darauf hin, dass nicht mehr das Land, sondern bereits

Verbreitung der Tierwelt im süddeutschen Muschelkalk.

	Röt	Wellengebirge unteres oberes	Anhydritgebirge	Hauptmuschelkalk unterer oberer	Trig. Dol.
Sessiles Benthos					
<i>Encrinurus gracilis</i>					
" <i>bläufornis</i>					
<i>Lingula</i> und <i>Discina</i>					
<i>Terebratulina vulgaris</i>					
<i>Sponferina hirsuta</i>					
" <i>fragilis</i>					
<i>Waldheimia angusta</i>					
<i>Ostrea sessilis</i>					
" <i>complicata</i>					
<i>Hinnites complus</i>					
<i>Pecten discites</i>					
" <i>laevigatus</i>					
<i>Lima radiata</i>					
" <i>lineata</i>					
" <i>striata</i>					
<i>Gemmillia socialis</i>					
" <i>costata</i>					
" <i>subglobosa</i>					
<i>Mytilus vetustus</i>					
<i>Dentalium laeve</i>					

das Wasser ihr Element war. Tragen die Nothosauriden auch noch den Charakter der landlebenden Ahnen in sich, so spricht sich in ihnen doch auch die Tendenz zu echt marinen Arten — den Plesio-

Vagiles Benthos und Neeton	Röt	Wellengebirge unteres	Wellengebirge oberes	Anhydritgebirge	Hauptmuschelkalk unterer	Hauptmuschelkalk oberer	Trig. Dol
<i>Myophoria vulgaris</i>							
" <i>laevigata</i>							
" <i>orbicularis</i>							
" <i>pes-anseris</i>							
" <i>cardissoides</i>							
" <i>elegans</i>							
" <i>Goldfussi</i>							
<i>Myacites fassaënsis</i>							
" <i>musculoides</i>							
" <i>Alberti</i>							
<i>Natica gregaria</i>							
<i>Nerita spirata</i>							
<i>Loromena Schlotheimii</i>							
" <i>Hehl</i>							
<i>Nautilus bidorsatus</i>							
<i>Ammonites Buchii</i>							
<i>Ceratites nodosus</i>							
" <i>sempartitus</i>							
<i>Mucosaurus</i>							
<i>Ichthyosaurus</i>							
<i>Cymathosaurus</i>							
<i>Nothosaurus</i>							

sauriden der Juraperiode — sehr deutlich aus, und diese Merkmale konnten sich nur im Wasserleben entwickeln. Ich betrachte daher die Nothosauriden (*Nothosaurus*, *Simosaurus*, *Anarosaurus*, *Cymatho-*

saurus u. a.) als marine Küstenbewohner, deren Element im wesentlichen das Meer war. Unsere Kenntnis dieser Tiere erlaubt noch nicht den Schluss, dass die Entwicklung dieser Tiergruppe vom Landleben zum Meerleben innerhalb des germanischen Muschelkalkes stattgefunden hat, aber vieles scheint darauf hinzudeuten; jedenfalls finden sich deren Überreste in allen Stufen desselben zerstreut. Die in ihrer zoologischen Stellung fragliche Gruppe der Placodontier kann unseren Studien wenig dienen, es scheint eine dem Meerleben und der Nahrung von Muscheltieren angepasste Tierart (vielleicht Schildkröte) gewesen zu sein. •

Die grossen Stegocephalen oder Labyrinthodonten, deren Überreste sich in Süddeutschland zuweilen noch im Muschelkalk finden, waren wohl Bewohner der Küste im brackischen und süssen Wasser, und ihre Knochen und Zähne sind nur in die Meeresablagerungen eingeschwemmt, ebenso wie die sparsamen Überreste von Landpflanzen (*Voltzia*).

Die beifolgende Liste soll keineswegs die gesamte Muschelkalkfauna erschöpfend wiedergeben, sondern es sind nur einzelne charakteristische Arten herausgegriffen, um ein allgemeines Bild von der Verbreitung des Benthos und Nekton in den einzelnen Schichtengliedern zu geben, wobei die Fauna von Südwestdeutschland zu Grunde gelegt ist. Als beste Leitfossilien können wir das sessile Benthos und vom vagilen Benthos die Ammonitiden ansehen, ersteres wegen seiner unmittelbaren Abhängigkeit vom Untergrunde, letztere wegen ihrer Empfindlichkeit gegen fremde Einflüsse. Sehr scharf tritt gerade bei diesen beiden Gruppen der Umstand hervor, dass wir zwei getrennte Faunen zu unterscheiden haben, diejenige des unteren und diejenige des oberen Muschelkalkes; diese Faunen sind getrennt durch die Formation des mittleren Muschelkalkes mit seiner grossen Petrefaktenarmut. Nur wenige, meist indifferente Arten des sessilen und mehrere des litoralen vagilen Benthos und des Nekton gehen durch den ganzen Muschelkalk hindurch. Wenn aber trotzdem viele Arten des unteren Muschelkalkes wieder unvermittelt im oberen Muschelkalk auftreten, so beweist dies, dass ihre Entwicklung in anderen Gebieten ausserhalb der germanischen Muschelkalkprovinz vor sich ging, d. h. dass diese Arten sich gleichmässig auch im offenen Ocean erhalten hatten, und zur Zeit des oberen Muschelkalkes wieder aufs neue einwanderten.

Aus der geographischen Verbreitung der Arten können wir darauf schliessen, dass die Einwanderung im Röt und unteren

Muschelkalk von Osten, im oberen Muschelkalk von Westen her kam, dazwischen liegt die Zone des mittleren Muschelkalkes, welche nur ein Aussterben und Verkümmern vorhandener Tiere, aber keine Einwanderung neuer Arten erkennen lässt.

Bildungsgeschichte.

So führt uns das Studium der Gesteinsbeschaffenheit wie der organischen Einschlüsse zu demselben Resultate über die Bildungsgeschichte des Muschelkalkes, welche sich folgendermassen gestaltet. Wir haben gesehen, dass zu Ende der Buntsandstein-Periode die weiten Wüstengebiete alle Anzeichen tiefer Depressionsgebiete zeigen, in welchen die Sandwüste mehr den Charakter einer Lehm- und Schlammwüste annahm. Der Eintritt feuchterer klimatischer Verhältnisse führte in diesen Niederungen zur Bildung von weitausgedehnten Sümpfen und Binnenseen. Die andauernde positive Bewegung, welche offenbar im Osten am stärksten war, ermöglichte allmählich am Schluss der Buntsandstein-Periode eine Kommunikation des offenen oceanischen Meeres mit den Depressionsgebieten und ihren Binnenseen. Diese Verbindung nahm mehr und mehr an Ausdehnung zu, so dass das ganze Depressionsgebiet mit Meerwasser sich erfüllte und mit ihm zugleich eine marine Fauna bezog, welche sich von Osten nach Westen ausbreitete und zwar derart, dass anspruchslose Vertreter des vagilen Benthos ebenso wie einige sessile Lamellibranchier und Brachiopoden überaus rasche Verbreitung fanden, während bei anderen Arten, besonders des sessilen Benthos, das Vordringen sehr langsam ging. Schon von der Mitte des unteren Muschelkalkes an beobachten wir im Osten eine negative Strandbewegung, welche durch einen litoralen Charakter des dortigen Gesteines wie der Fauna angedeutet wird. Diese Bewegung führte schliesslich zu einem Abschluss der Verbindung mit dem offenen Ocean und das Muschelkalkmeer nahm den Charakter eines Binnenmeeres resp. Salzsees an. Der grösste Teil der Fauna starb ab oder fristete in den durch Zuflüsse vom Lande her etwas ausgesüsst Küstenzonen ein kümmerliches Dasein. Der negativen Bewegung im Osten entsprach eine positive Bewegung, d. h. eine Senkung im Westen, so dass dort die tiefsten Punkte des Salzsees sich ausbildeten, in welchen aus den übersättigten Lösungen Steinsalz und Anhydrit zur Ausfällung kamen. Zugleich bereitete sich dort auch eine neue Verbindung mit dem offenen Ocean vor, welcher nun mit Abschluss des mittleren Muschelkalkes in die Niederungen des Salzsees einfluss

und demselben wiederum den Charakter des Meeres gab. Ein Aufleben der fast abgestorbenen Fauna und eine Bereicherung durch neu eingewanderte oceanische Arten war die Folge. Die Verbindung mit dem offenen Ocean im Südwesten blieb während der ganzen Zeit des Hauptmuschelkalkes bestehen, doch war der Weg entweder ein weiter oder ein beengter, denn die Einwanderungen neuer Arten sind sehr beschränkt. Zu Ende des Hauptmuschelkalkes machen sich im ganzen germanischen Triasgebiet wieder negative Verschiebungen, d. h. Hebungen des Untergrundes, bemerkbar, das Benthos der Tiefsee stirbt ab und nur die Küstenfauna konnte sich erhalten und zu üppiger Formenfülle entfalten. Die Überreste des küstenbewohnenden Nekton mehren sich, vielfach vermischt mit eingeschwemmten Küstenbewohnern. Mit dieser Facies des *Trigonodus-Dolomites* ist der Eintritt einer neuen Phase der Triasperiode eingeleitet.

3. Die paralischen Bildungen der Lettenkohle.

Die Lettenkohle bildet ein ausgesprochenes Binde- oder Zwischenglied zwischen dem marinen Muschelkalk und den Binnenseeablagerungen des Keupers und wird deshalb bald zu diesem, bald zu jenem gestellt. Für diese Betrachtungen scheint es mir am geeignetsten, sie als ein selbständiges Schichtenglied zu behandeln, das den Übergang vom Muschelkalk zum Keuper vermittelt.

Die Gesteinsarten und Fossilien der Lettenkohle zeigen den Typus einer paralischen Facies, d. h. einer Bildung in flachen Küstenländern, in welchen bald der marine, bald der terrestrische Einfluss überwiegt. Bezüglich ihrer Verbreitung schliesst sich die Lettenkohle noch auf das engste an den Muschelkalk an, lagert stets konkordant auf diesem, ja sie entwickelt sich, wie BENECKE¹ bemerkt, gewissermassen aus den obersten Schichten des Muschelkalkdolomites, indem die festen Bänke zurücktreten, die Mergel überhandnehmen und hier und da Sandsteine sich einschieben. Wo oberer Muschelkalk sich findet, da ist sicherlich auch die Lettenkohle entwickelt, während anderseits in den Gegenden, wo der Muschelkalk nicht mehr entwickelt ist, auch die Lettenkohle fehlt. Ein treffendes Beispiel bildet hierfür Luxemburg, wo wir zugleich mit dem Auskeilen und Verschwinden des Muschelkalkes auch ein entsprechen-

¹ Benecke, W., Abriss der Geologie von Elsass-Lothringen (Statist. Beschreibung v. Elsass-Lothringen). Strassburg 1878.

des Verhalten der Lettenkohle beobachten können. Mit Sicherheit können wir sowohl in der geographischen Verbreitung wie in der Ausbildung eine Abhängigkeit, d. h. einen genetischen Zusammenhang von Lettenkohle und oberem Muschelkalk bemerken, eine Thatsache, welche wohl zu beachten ist.

Bezüglich des Gesteinscharakters beobachten wir, dass die Lettenkohle sich zumeist aus dunkelgrauen Mergeln mit Zwischenlagen von dolomitischen Kalken aufbaut. Nur in den Küstenzonen, wie z. B. in Luxemburg, treten die sonst für den Gipskeuper charakteristischen roten Färbungen auf. Eine sehr bezeichnende Schichte, welche in vielen Gegenden die Grenze von Muschelkalk und Lettenkohle bildet, ist das Bonebed, eine ausgesprochene Knochenbreccie oder wenigstens eine Anhäufung von Knochen- und Zahnfragmenten der sowohl in der litoralen Zone des Meeres (Selachier, Ganoidfische und Nothosaurier) wie an der Küste (Labyrinthodonten) auf dem Lande lebender Wirbeltiere. Es ist dies eine sehr charakteristische Strandbildung, wie wir sie auch heute noch an vielen Küsten des Meeres beobachten können. Auch die dolomitischen Kalke und Mergel sind als Niederschläge im flachen Küstenmeere aufzufassen, was sich auch durch die Einschlüsse von marinen Küstenbewohnern, wie *Lingula*, *Estheria* und Cardinien, kundthut. In diese Schlammfacies des Ufers gleichsam eingebettet und mehr oder minder tief in sie eingreifend, finden wir feinkörnige Sandsteine, deren normaler Horizont etwa in dem mittleren Teile der Lettenkohle liegt, welche aber auf Kosten der unteren Schichten bis zum Muschelkalk hinabgreifen und dann (z. B. Beuerlbach bei Crailsheim) direkt auf dem Dolomit auflagern. Die Mächtigkeit des Sandsteines ist eine schwankende und rasch sich verändernde und zwar in der Art, dass wir zwar konstant im unteren Drittel der Lettenkohle einen sandigen Horizont verbreitet finden, dass aber dieser Horizont lokal und zwar in bestimmten Zonen oder Strichen plötzlich anschwillt und zwar nach unten. Es erklärt sich dies, wie THÜRACH es bei den vollständig analogen Verhältnissen des Schilfsandsteines nachgewiesen hat, dadurch, dass durch Strömungen oder Flüsse tiefe Furchen in den Schlammgrund eingerissen waren, welche sich mit Sand erfüllten, und so ein ähnliches Bild wie ein mit Alluvionen erfülltes Thal gaben. Wir können nach dem Vorgange von THÜRACH auch in der Lettenkohle von einem normal gelagerten Sandstein und einer Flutbildung desselben reden, ersterer ein ganz allgemein und auf weite Strecken gleichmässig verbreiteter Horizont,

letztere eine nur lokal beschränkte Erscheinung. Der Sandstein, insbesondere in der Flutzzone, trägt einen ausgesprochen terrestrischen Charakter, unter den Fossilien treten Land- und Sumpfpflanzen in den Vordergrund, zu welchen sich noch die Überreste von landlebenden Labyrinthodonten gesellen. Wir können uns die Bildung des Sandsteines in der Weise leicht erklären, dass wir eine leichte Hebung des Untergrundes in dem an sich schon sehr flachen und seichten Meere annehmen, hierdurch wurden einestheils durch Strömungen und einmündende Gewässer tiefe thalartige Furchen in dem schlammigen Untergrunde ausgewaschen und andererseits Sand von der nahen Küste eingeführt, welcher die Thalfurchen und Flutrinnen erfüllte und sich auch sonsthin weit auf dem Meeresboden verbreitete.

Die ausgedehnten Sumpfbildungen und die dadurch bedingte Einschwemmung von Pflanzenresten führte zu einer freilich sehr untergeordneten Kohlenbildung, welcher die Formation ihren Namen verdankt. Es ist nun interessant zu beobachten, wie dieselbe Gesteinsfacies der Mergel und dolomitischen Kalke, welche die Schichten zwischen Sandstein und Muschelkalk bilden, von dem Sandsteine an nach oben in umgekehrter Richtung ausgebildet ist, so dass sie von sandig-mergeliger Facies in dolomitische Mergel und schliesslich in reine Dolomite — Grenzdolomit — oder Zellendolomite übergeht. Dieser obere Grenzdolomit entspricht in seiner Facies etwa dem *Trigonodus*-Dolomit, und interessant ist, dass sich in demselben die echte marine Muschelkalkfauna wiederfindet, vertreten durch die uferbewohnenden Arten des vagilen Benthos und einzelnen Formen des Nekton. Es sind sogar grösstenteils dieselben Species (*Myophoria Goldfussi*, *laevigata*, *vulgaris*, *Gervillia socialis*, *subcostata*, *Nautilus bidorsatus*, Nothosaurier etc.) und nur durch wenige Varietäten (*Myophoria transversa* u. a.) vermehrt. Der Schluss, dass bei Abschluss der Lettenkohlenperiode wieder analoge Verhältnisse herrschten wie zur Zeit der letzten Muschelkalkablagerungen, dürfte demnach gerechtfertigt erscheinen.

Suchen wir eine Erklärung für die Bildung der Lettenkohlenformation, so können wir uns etwa die Vorgänge folgendermassen vorstellen. Die Periode des Muschelkalkes schloss ab mit einer allgemein durchgreifenden negativen Bewegung, wobei jedoch, wie hervorgehoben wurde, die Verbindung mit dem offenen Ocean im Südwesten nicht unterbrochen wurde; wir haben uns im Gegenteil zu denken, dass gerade dorthin die Wasser ihren Abfluss suchten

und fanden. Durch die fortgesetzte Hebung des Untergrundes gewann das germanische Triasmeer den Charakter einer Flachsee, aus welcher sich der vagile Benthos nach tieferen und freieren Gegenden im Südwesten zurückzog und in welchem nur wenige halbbrackische Arten wie die Estherien, *Lingula* und Cardinien, sich üppig entwickelten. Die Küste trat natürlich infolge dieser negativen Bewegung immer näher, d. h. die Meeresbucht wurde kleiner und der niedrige Meeresgrund wurde von Strömungen u. dergl. durchfurcht. Das Maximum der Hebung ist gekennzeichnet durch das Einschwemmen von Sand über die Schlammgebilde hinweg und durch Ausfüllung der Furchen mit demselben. Von dem Abschluss des ersten Drittels der Lettenkohle begann wiederum eine Senkung und damit eine Ausbreitung des Meeres und Vertiefung des Untergrundes. Die Sandschichten wurden wieder mit Schlick und Schlamm bedeckt, dieselbe Tierwelt, wie in der unteren Lettenkohle, stellte sich wieder ein und bei fortgesetzter Senkung wurde auch diese wiederum von der echt marinen Fauna, dem vagilen Benthos und dem Nekton des obersten Muschelkalkes, verdrängt¹.

4. Die Binnenseebildungen der Keuperzeit.

Die Keuperformation mit ihrem bunten Wechsel der verschiedensten Gesteinsarten und ihrer raschen lokalen Änderung weist auf sehr verschiedenartige Entstehungsursachen hin, welche nicht immer leicht zu deuten sind. Wenn ich trotzdem den Versuch mache, so stütze ich mich dabei auf die ausserordentlich sorgfältigen Studien von THÜRACH², welche neben den Detailstudien einen Überblick über die gesamte germanische Triasprovinz geben.

Was uns bei der geographischen Verbreitung des Keupers sofort auffällt, ist die bedeutende Erstreckung dieser Formation weit über die Grenzen des Muschelkalkgebietes hinaus.

In dieser Hinsicht schliesst sich das Verbreitungsgebiet an dasjenige des Buntsandsteines an, ja, greift noch über

¹ Die Entstehungsgeschichte spricht demnach auf das entschiedenste für die Zuziehung der Lettenkohle zum Muschelkalk, indem sie nur eine und zwar die letzte Phase des noch mit dem offenen Ocean kommunizierenden Meeresarmes, der auch den Muschelkalk ablagerte, darstellt.

² Thürach, H., Übersicht über die Gliederung des Keupers im nördlichen Franken im Vergleiche zu den benachbarten Gegenden (Geognost. Jahresh. München. I. Jahrg. 1888 S. 75—162, II. Jahrg. 1889 S. 1—90).

dessen Grenzen hinaus. So finden wir nicht allein die deutschen Triasgebiete, deren Umgrenzung bei der Verbreitung des Muschelkalkes (S. 58 ff.) besprochen wurde, von Keuper beherrscht, sondern es gesellten sich hierzu im Osten die weiten Keupergebiete in Polen bis in das Krakauer Gebiet; im Norden bildete die skandinavische Halbinsel das Triasufer, in England lagern auf dem Buntsandstein ohne Zwischenlagerung von Muschelkalk mächtige Keupergebilde, welche bis zur äussersten Nordspitze von Irland reichen. Dasselbe Verhältnis wie in England findet sich im nördlichen Frankreich; aber auch in dem grössten Teile des übrigen Frankreich ist der Keuper sehr verbreitet und erreicht teilweise ganz ausserordentliche Mächtigkeiten. Wir dürfen deshalb die Grenzen des Keupergebietes sehr weit ziehen und annehmen, dass dasselbe ausser der deutschen Triasprovinz einen Teil von Polen, das südliche Skandinavien, einen grossen Teil von England und Irland, sowie nahezu ganz Frankreich und vielleicht noch einen Teil von Spanien umfasste. Bezüglich der genaueren Umgrenzung innerhalb der deutschen Gebiete entnehmen wir THÜRACH (l. c. I. Teil S. 80) folgendes: „Die Küste des Keupermeeres wurde gebildet vom Südwestabhang des Thüringer- und Frankenwaldes, des Fichtelgebirges und des bayrisch-böhmischen Grenzgebirges in einer etwas gebogenen von NW. nach SO. verlaufenden Linie. In der Gegend von Regensburg wendete sich dieselbe, eine tiefe Bucht gegen Westen bildend, annähernd dem heutigen Donauthal folgend, bis ungefähr in die Gegend von Nördlingen, um dann in südwestlicher Richtung sich bis in die Schweiz zu erstrecken.“ Die Scheidewand gegen die alpinen Triasmeere bildete der schon öfters erwähnte vindelicische Gebirgsrücken.

„Ausser diesen Küstenländern waren zur Keuperzeit noch Festland: das ganze böhmisch-mährische Bergland, ein Teil von Oberösterreich, das Erzgebirge und die Sudeten. Von diesem Lande stammt der grösste Teil des mechanisch durch das Wasser herbeigeführten Materials des fränkischen Keupers, zu dem die aus dem germanischen Keupermeere als Inseln emporragenden Bergländer des (?) Schwarzwaldes, (?) der Vogesen, des Harzes, rheinischen Schiefergebirges und der nur durch einen schmalen Meeresarm davon getrennten Eifel und Ardennen wohl nur einen unbedeutenden Beitrag geliefert haben. Dagegen bildete im Norden dieses Meeres das nördliche Russland und Skandinavien und vielleicht das ganze Gebiet von hier aus weiter über Schottland bis Grönland und das nördliche Nordamerika einen grossen, aus Urgebirges und palaeozoischen Gesteinen bestehenden Kontinent.“

Aus der sorgfältigen Untersuchung und Verfolgung einzelner Keuperhorizonte und deren Facies, konnte THÜRACH noch weitere Schlüsse ziehen, über welche er sich folgendermassen ausspricht: „Nach der Beschaffenheit der Keuperablagerungen rings um das geschilderte, von den Sudeten bis zum Thüringer Wald und bis zu den heutigen Alpen reichende Festland, dürfen wir annehmen, dass der grössere Teil des Wassers auf demselben in die fränkische Keuperbucht abgeflossen ist und hier zunächst der Küste Ablagerungen erzeugte, welche fast nur aus losem Sand und lockeren, grobkörnigen Sandsteinen bestehen, und zugleich durch ihren Reichtum an Feldspat und Kaolin ihre Abstammung von einem vorwiegend aus Urgebirge bestehenden Lande noch besonders andeuten.

Je weiter man sich von der Küste und aus der Bucht entfernt, um so mehr treten die sandigen Gesteine zurück, während die Lettenschiefer und Mergel und weiterhin der Gips an Mächtigkeit gewinnen, bis schliesslich in den ausserhalb des Meerbusens gebildeten Keuperablagerungen in Elsass-Lothringen, an der Weser und in Thüringen die Sandsteinbildungen bis auf den Schilfsandstein fast gänzlich verschwinden.

Diese Veränderungen in der Beschaffenheit der Gesteine sind sehr auffälliger Art und erfolgen in den meisten Horizonten ziemlich gleichartig an denselben Orten, so dass man die germanischen Keuperbildungen in verschiedene Zonen abteilen kann. Wir unterscheiden deshalb, von der fränkischen Keuperbucht ausgehend, eine randliche Zone, welche auf Franken beschränkt ist, den inneren Teil der Keuperbucht erfüllt und deren westliche Grenze ungefähr aus der Gegend von Kulmbach nach Fürth bei Nürnberg, Ansbach und Dinkelsbühl zu ziehen ist, eine mittlere Zone, welche von dieser Linie an die ganze fränkische und schwäbische Keuperprovinz umfasst, und eine äussere Zone, welche von den Keuperablagerungen in Elsass-Lothringen, Luxemburg, am Rande der Eifel, an der Weser, in Braunschweig, Thüringen und Schlesien gebildet wird und welche alle unter sich einen sehr ähnlichen Aufbau zeigen.

Wir haben, wie hieraus ersichtlich, einerseits einen zonalen Facieswechsel innerhalb des Verbreitungsgebietes des Keupers zu beobachten, und hierzu gesellt sich die grosse Mannigfaltigkeit innerhalb der Schichtenserie selbst, wodurch das Gesamtbild ein überaus buntes wird.

Teils nach der Gesteinsbeschaffenheit, teils nach den Fossilien wird der Keuper in einzelne Glieder getrennt, welche zugleich ge-

wissen Phasen der Entstehungsgeschichte entsprechen und welche wir nun im einzelnen zu betrachten haben.

Der untere Gipskeuper.

Über der Lettenkohle beginnt ein wesentlich neuer petrographischer Charakter; an Stelle der grauen Mergel und Dolomite treten nunmehr bunte, meist rot- und grüngefärbte Gipsmergel als leitendes Hauptgestein. Untergeordnet stellen sich einzelne Steinmergel-Bänke auf, zuweilen mit dolomitischem Material, in der Regel aber nur aus einem durch kalkiges Bindemittel verfestigtem Thon bestehend. Sehr charakteristisch ist das Auftreten von Gips, der lokal in mehr oder minder mächtigen Stöcken oder Lagen angehäuft ist. Am weitesten ist seine Verbreitung in den unteren Lagen, den sogen. Grundgipsen, die besonders in der mittleren Zone THÜRACH'S sich entwickelt finden, und hier gewöhnlich auch zu einer sekundären Vergipsung des darunter liegenden Lettenkohlendolomites und selbst tieferer Horizonte (in Spuren bis zum Trochitenkalk hinabreichend) führen. Steinsalz ist zwar in der randlichen und mittleren Zone nur durch Pseudomorphosen oder geringe Spuren angedeutet, verfolgen wir dagegen die Schichten weiterhin in die äussere Zone, so mehrt sich der Salzgehalt und schwillt schliesslich in den westlichen Gebieten von Elsass-Lothringen, Luxemburg, Frankreich und besonders in England zu mächtigen Lagern und Stöcken an.

Die Tierwelt ist eine ausserordentlich dürftige und auf wenige Steinmergelbänke beschränkt. Interessant und für die Bildungsgeschichte wichtig ist die Thatsache, dass diese fossilführenden Bänke, wenn auch nur einige Centimeter mächtig, doch eine ungemeine Verbreitung besitzen. Es erinnert an das plötzliche massenhafte Auftreten einzelner Insekten oder Kruster (*Apus* etc.) und ist sicher nur auf das Gedeihen grosser Larvenschwärme (Meroplankton) zurückzuführen. So liefert im unteren Teile der Gipsmergel die Bleiglanzbank mit zahllosen Resten von *Corbula Rosthorni* und seltener *Myophoria Raibliana* einen ausgezeichneten geologischen Horizont, sehr wichtig sind sodann die mit Schalenkrebsen (*Estheria laxitexta*) erfüllten Bänkchen, ebenso wie andere dünnschalige Anoplophoren oder die Spuren von Wirbeltieren, meist in Gestalt von Schuppen von Ganoidfischen oder Haifischzähnen erhalten. Das ganze Auftreten der Fauna lässt jedoch einen ausserordentlichen Unterschied zwischen einer echt marinen Tierwelt erkennen; ein sessiles Benthos fehlt

überhaupt gänzlich und von dem vagilen Benthos sind es nur wenige Arten, welche allerdings manchmal in zahlloser Masse zur Entwicklung kommen; es sind dies Arten, welche offenbar eine leichte Anpassungsfähigkeit an neue Lebensbedingungen zeigen, sei es an mehr brackisches, also ausgesüsstes Wasser oder auch an stärker gesalzenes. Aus der Tierwelt selbst ist diese Frage nicht leicht zu entscheiden; die Phyllopoden, zu welchen die Estherien zählen, sind heutzutage meist Bewohner des Süsswassers, doch weisen wiederum gerade die Estherien Arten auf (*Artemia*), welche die Salzsümpfe bewohnen und in der Fauna des Aral- und Kaspisees spielen die Estherien eine überaus wichtige Rolle. Noch indifferentere sind die Muscheln, von welchen einzelne Arten sich ebenso leicht brackischem wie übersalzenem Wasser anpassen können. Im Nekton ist nur auffallend, dass die im Muschelkalk und in der Lettenkohle so häufigen Nothosaurier vollständig verschwinden, dass dagegen noch Spuren von Haifischen auftreten.

Mehr Anhaltspunkte über die Bildungsgeschichte bietet uns das Gesteinsmaterial selbst. Dass dasselbe ein Niederschlag aus salzigem Wasser war, steht wohl ausser allem Zweifel und wird durch die Absätze von Gips und Salz bewiesen. Ja, die Ausfällung dieser Mineralien lässt sogar (vergl. S. 65) darauf schliessen, dass wir es mit Bildungen in übersättigten Salzseen zu thun haben. Diese konnten sich aber nur dadurch ausbilden, dass der Verbindungsarm mit dem offenen Meere, den wir noch zur Zeit der Lettenkohle als bestehend annahmen, abgeschnürt und unterbrochen wurde. Dadurch wurde das germanische Triasmeer in ein grosses Binnenmeer mit dem Charakter und den Eigenschaften eines Salzsees umgewandelt und es wurden Verhältnisse hergestellt, wie wir sie analog während des mittleren Muschelkalkes kennen gelernt haben. Die Fauna schwindet und degeneriert und nur einige wenige anpassungsfähige Küstenbewohner können sich noch halten, unter Umständen sogar, wie *Estheria* und *Corbula*, zu grosser Üppigkeit entwickeln. Wie zur mittleren Muschelkalkzeit, so finden wir auch im Keuper wiederum Ausfällungen der Salzlösungen und zwar Salz und Anhydrit in den offenbar tiefsten westlichen und nordwestlichen Regionen, Gips dagegen in sehr weiter Verbreitung. Die Analogie mit den heutigen Salzseebildungen ist sogar noch eine viel grössere, als im mittleren Muschelkalk, indem wir auch in den Küsten und Uferzonen noch die Spuren (Pseudomorphosen) der während der trockenen Jahreszeit gebildeten und in nasser Zeit wieder aufgelösten Salzkrusten haben.

Immerhin besteht aber doch ein ganz wesentlicher Unterschied bezüglich des Gesteinsmaterialies im mittleren Muschelkalk und dem Keuper; dort die grauen und dunklen Dolomite, in welchen Salz, Anhydrit und Gips eingelagert sind, hier die bunten graugrünrot gefärbten Mergel. Der Unterschied ist zweifellos auf die Bildungsweise zurückzuführen, wobei wir uns daran zu erinnern haben, dass die Gesteine des mittleren Muschelkalkes Tiefengesteine des abgeschnürten Binnenmeeres sind, während die Meerestiefen zur Zeit der Keuperbildung offenbar sehr geringe waren, so dass wir im Keupermaterial mehr oder minder Küstengebilde eines zwar weit ausgebreiteten, aber sehr flachen Binnensees zu sehen haben. Wir kennen aus dem Muschelkalk nur wenig Uferzonen, wo solche aber sicher beobachtet werden können, wie z. B. in der Eifel, in Luxemburg und einem Teile von Lothringen¹, da tritt uns auch dieselbe Färbung und Beschaffenheit des Materialies in Gestalt roter und grünlichgrauer Schieferletten im mittleren Muschelkalk entgegen.

Auch die Natur dieses an der Küste sowohl während des mittleren Muschelkalkes, wie während der Keuperzeit niedergeschlagenen Materialies ist nicht eine zufällige, sondern wohlbegründete. Wir müssen uns daran erinnern, dass das Muschelkalkmeer nur einen kleinen Teil des früheren Buntsandsteingebietes erfüllte, dass also fast allenthalben die Küste sich aus den Gesteinen des Buntsandsteines aufbaute und dass ein grosser Teil des Materialies, welches dem Keupermeer zugeführt wurde, den roten thonigen Schichten des oberen Buntsandsteins oder Rötes, teilweise vielleicht auch dem durch Denudation entblösten Rotliegenden entnommen wurde. Mehr Schwierigkeiten zur Deutung der Verhältnisse zur Keuperzeit macht der Umstand, dass das Areal des Keupers bedeutend grösser ist, als dasjenige des Muschelkalkes, während doch bei der Umgestaltung des einstigen Meeres in einen Salzsee das gerade Gegenteil, d. h. eine Verringerung des Areales anzunehmen berechtigt wären. Wir können es nur dadurch erklären, dass durch fortgesetzte negative Bewegung, d. h. Hebung des Bodens an Stelle des immerhin noch tiefen Muschelkalkmeeres, ein ausserordentlich flacher und seichter See trat, so dass zwar das Flächenareal, aber nicht das Wasservolumen vergrössert wurde. Bei der ausgedehnten Wasseroberfläche war natürlich auch die Verdampfung eine viel grössere und dadurch

¹ Es ist nicht ausgeschlossen, dass auch ein grosser Teil der bunten Mergel über dem Buntsandstein in Frankreich und England nichts anderes ist, als die Uferfacies des Muschelkalkmeeres.

erklärt sich wiederum die reichliche Ausfällung von Sedimenten und vor allem von Gips und Steinsalz. Immerhin haben wir auch daran zu denken, dass durch die einflussenden Gewässer in den Küstenzonen lokal eine allmähliche Aussüßung um sich greifen konnte, und dass namentlich das Küstengebiet selbst den Charakter eines Süßwassersumpfes mit reicher Vegetation annahm.

Der Schilfsandstein.

Die Sandsteinbildung des mittleren Keupers ist vollständig analog derjenigen in der Lettenkohle, sowohl was das Material betrifft, als auch bezüglich der Ablagerungsweise. In sehr klarer Weise schildert THÜRACH (l. c. I. Teil S. 132) die Art der Bildung folgenderweise: Gegen den Schluss der Bildung des unteren Gipskeupers scheint im ganzen Bereich der ausseralpinen Keupervorkommen Deutschlands eine langsame und gleichmässige, kontinentale Hebung des Meeresbodens und der umliegenden Küstenländer und Inseln gegenüber dem Wasserspiegel des Keupermeeres stattgefunden zu haben. Die eingetretene Strömung des abfliessenden Meeres¹ brachte von der Küste feinen Sand und zugleich auch die Estherien mit, welche sich während der Bildung der oberen Gipsmergel wahrscheinlich in nächster Nähe der Küste in der randlichen Keuperzone aufgehalten hatten. Gegen Ende der Hebung, welche nicht mehr als 10 m betragen zu haben braucht, um alle nun folgenden Veränderungen in den Ablagerungen hervorzubringen und zu erklären, hatten sich die der Küste zunächst liegenden Strecken in ein sumpfiges Festland verwandelt, während die ganze mittlere und äussere Keuperzone noch von Wasser überdeckt war. Die von den umgebenden höheren Festländern, für Franken besonders von der grossen bayrisch-böhmischen Insel herabkommenden Flüsse ergossen sich über diese sumpfigen Küstenstrecken und gruben sich in dem ausserordentlich weichen Untergrund rasch tiefe und breite Flussbetten, welche die Strömung auch in den noch von Wasser überdeckten Gebieten der mittleren und äusseren Keuperzone fortsetzte. Wir finden an diesen Stellen den oberen Teil der Estheriensichten bis auf bedeutende Tiefe (bis 20 und 30 m) weggewaschen und in den gebildeten, grabenartigen Vertiefungen den Schilfsandstein in grosser Mächtigkeit abgelagert. In der mittleren und äusseren und in einem grossen

¹ Dasselbe darf sowohl nach Westen und Nordwesten in die Niederungen des französischen und englischen Keupergebietes, wie nach Osten in die schlesisch-pölnischen Distrikte gedacht werden.

Teil der randlichen Keuperzone verbreitete sich die Strömung aber auch über die unverletzten Schichten des unteren Gypskeupers und lieferte das Material zu dem regelmässig darüber gelagerten Schilfsandstein. Wir unterscheiden deshalb zwischen einem normal gelagerten Schilfsandstein und einer Flutbildung des Schilfsandsteins in den ausgewaschenen, grabenartigen Vertiefungen.

THÜRACH giebt eine kartographische Skizze von der Verbreitung der Flutzonen in Franken und dasselbe würde auch in Württemberg ein ganz ähnliches Bild geben. Ich habe den Eindruck, als ob die Flutzonen des Schilfsandsteines in Schwaben eine Richtung von Ost nach Westen oder jedenfalls von der Alb weg gegen Nordwesten aufweisen, doch bedarf es hierüber noch weiterer sorgfältiger Studien.

Die Flora und Fauna gehört dem Lande an und wurde von dorthier eingeschwemmt. Wirklich häufig sind nur die Equiseten (*Equisetum arenaceum*), deren Überreste wie Strünke, Blattscheiden, Internodien und Wurzelknollen nicht selten die Schichtflächen erfüllen. Seltener sind die Cycadeen (*Pterophyllum*) und die Farne (*Pecopteris*, *Glossopteris*, *Neuropteris*, *Danacopsis* und *Clathropteris*). Auch Koniferen (*Widdringtonites* und *Cupressites*) finden sich als Seltenheiten. Von der Flora des Lettenkohlsandsteines unterscheidet sich diejenige des Schilfsandsteines nicht unwesentlich, wenn auch manche Arten gemeinsam sind. Unter den Equiseten tritt das in der Lettenkohle häufige *E. Meriani* sehr zurück, ebenso ist *Danacopsis marantacea* im Schilfsandstein selten. Umgekehrt mehren sich oben und stellen sich teilweise neu ein die zahlreichen Pterophyllen und *Pecopteris Stuttgartiensis*, ebenso wie *Clathropteris reticulata*. Auch die Fauna ist eine andere; nur noch ein Glied der riesigen Mastodontosaurier ist übrig (*M. keuperinus*), dagegen treten zwei neue, etwas kleinere Arten der Labyrinthodonten, *Metopias* und *Cyclotosaurus*, auf. Ausserdem sind noch als grosse Seltenheiten Zähne von *Ceratodus*, Reste von einem Dinosaurier (*Zanclodon*) und von einer eigenartigen Gruppe der Saurier, den sogen. Parasuchiern (*Dyoplax arenaceus*), erhalten. Gesteinsbildung, Lagerung und die organischen Reste stimmen demnach vollkommen überein und lassen uns in dem Schilfsandstein eine fluviatile Bildung, d. h. eine Einschwemmung von Süsswasserströmen in die Niederungen der Keuperseen erkennen.

Die Berggipsschichten, Lehrbergstufe oder Rote Wand.

Auf dem Schilfsandstein lagern intensiv rotbraune Mergel und Lettenschiefer, welche bei uns in Württemberg allenthalben als Abraum der Werksteinbrüche aufgeschlossen sind und treffend als „Rote Wand“ bezeichnet werden. Als Einlagerungen in den bunten Mergeln finden wir untergeordnet und meist auf kleine Distrikte lokalisiert, dolomitische Kalkstein- und Steinmergelbänke, sowie Sandsteine und Gips. Das letztere Vorkommen von Alabastergipsknollen oder linsenförmigen Stöcken führte zur Bezeichnung Berggipse, während das petrefaktenreiche Vorkommen von dolomitischen Kalksteinbänken im oberen Teile der Stufe bei Lehrberg den Namen der Lehrbergstufe rechtfertigt.

Die Ausbildung der einzelnen Horizonte innerhalb der Berggipsschichten sowie die Mächtigkeitsverhältnisse schwanken ausserordentlich, und sehr deutlich macht sich bereits die verschiedenartige Facies der drei Zonen von THÜRACH geltend. In der Randzone finden wir eine ausgesprochen sandige Facies; die mittlere Zone stellt gleichsam die Normalentwicklung dar, während in der äusseren Zone die Thone und Gipse überwiegen. Im Westen (Elsass-Lothringen) stellen sich petrefaktenführende Dolomitbänke und Steinmergel (Hauptsteinmergel BENECKE's oder Horizont Beaumont) bereits in den unteren Berggipsen ein, während sie in Franken als Lehrbergschichten erst oben lagern. Die Versteinerungen, welche zuweilen in Menge die dolomitischen Kalke erfüllen, gehören fast alle einer kleinen Turmschnecke (*Turritella Theodorii* BERG.) an, während die Schalen einer flachen Muschel (*Trigonodus keuperinus* BERG.) schon recht selten sind. An einer Lokalität fand THÜRACH auch noch einige andere Arten von Gasteropoden und Bivalven, auch Spuren von Fischen wurden beobachtet. Im allgemeinen dürfen wir jedoch die Fauna als eine äusserst ärmliche und verkümmerte bezeichnen, sie entspricht weder dem Leben eines Süsswassersees, noch viel weniger dem des Meeres, sondern trägt wie die Fauna der unteren Gipsmergel den Charakter eines Salzsees.

Zu der Annahme, dass es sich bei den Berggipsschichten um nichts anderes als um die limnischen Bildungen innerhalb eines abgeschlossenen Seebeckens handelt, werden wir auch durch die Gesteinsbeschaffenheit bestärkt. Die bunten, meist rot gefärbten Mergel mit Gips und Steinsalz pseudomorphosen entsprechen vollständig den Sedimenten, welche wir in den mit Salzlaken erfüllten

Niederungen zusammengeschwemmt finden. Die Sandfacies der Randzone entspricht der Küste, welche wir uns als ein sumpfiges Gebiet zu denken haben, das ganz allmählich in den Salzsee überging. Auf die Bildung und Lagerung des Sandes kommen wir später noch eingehender zu sprechen.

**Die obere Abteilung des bunten Keupers. (Stubensandstein
und Zancloodon-Mergel.)**

Schärfer als in den unteren und mittleren Stufen des Keupers kommt die Trennung der Sand- und Thonfacies in der oberen Abteilung zur Geltung, und die Scheidung in Küstenzonen mit Sandfacies und mergelige limnische Bildungen, welche bereits in der Lehrbergstufe angedeutet wurde, ist nunmehr wohlausgebildet. Auch hier kann ich mich der Worte von THÜRACH (l. c. II. Teil S. 16) bedienen, welcher sich hierüber folgendermassen ausdrückt: Die obere Abteilung des bunten Keupers besteht mit Ausnahme der obersten Stufe, der roten *Zancloodon*-Letten, im grössten Teile Frankens vorwiegend aus weissen Sandsteinen, welche fast in jedem Horizonte in zahlreichen Lagen so lockeres Gefüge besitzen, dass sie als Stubensande gegraben werden. Man kann diese Abteilung deshalb auch die Gruppe des Stubensandsteins und der *Zancloodon*-Letten nennen. Die Beschaffenheit der Gesteine ist aber in den verschiedenen Keuperprovinzen Frankens eine recht verschiedene. Während in der randlichen Keuperzone Sandsteine weitaus vorwiegen und Lettenschiefer nur ganz untergeordnet auftreten, werden diese in der mittleren Keuperzone allmählich mächtiger, gehen in Mergel über und schieben sich in immer zahlreicheren Zwischenlagen zwischen die sich verschwächenden Sandsteinbänke ein. In den äusseren Teilen dieser Zone, in den nördlichen Hassbergen ebenso wie in den Löwensteiner Bergen und im Stromberg in Württemberg sind die Mergel bereits vorwiegend entwickelt und die Sandsteine fehlen in einzelnen Stufen fast gänzlich. Dadurch ist eine Verbindung mit der äusseren Keuperzone gegeben, in welcher hier fast nur Mergel und Steinmergel vorkommen und Sandsteine bis auf Spuren fehlen.

Dieses Auskeilen der Sandsteine in den äusseren Teilen der fränkischen Keuperbucht findet ganz besonders auch in der untersten Stufe, in der Unterabteilung des Blasensandsteins statt, so dass im südlichen Franken die Sandsteine schon 1—3 m über der oberen Lehrbergbank beginnen, im nördlichen dagegen erst 30—40 m darüber und in anderen Schichten ihren Anfang nehmen. Es kann des-

halb der Beginn des Sandsteins nicht auch zugleich als untere Grenze der oberen Abteilung angesehen werden, weshalb früher bereits die obere Lehrbergbank als obere Grenzbank der mittleren Abteilung betrachtet wurde.

Die Gliederung des 120—230 m mächtigen oberen bunten Keupers, speciell der Stubensandsteingruppe, in einzelne Unterabteilungen und die einheitliche Durchführung dieser Gliederung auf weitere Gebiete, ist eine sehr schwierige Sache, da es keinen Horizont giebt, der in gleicher, charakteristischer Beschaffenheit durchaus zu verfolgen wäre. Nur durch die sorgfältigsten Untersuchungen ist dies THÜRACH für das nördliche Franken gelungen und das Keuperprofil von Königshofen bis Gunzenhausen giebt ein treffliches Bild der heteropischen Differenzierung. Die Gliederung ergibt von unten nach oben folgende Horizonte: Auf den Lehrbergschichten folgt die Stufe des Blasen- und Coburger Sandsteines (25—50 m) in der Randzone als grobkörniger und löcheriger Sandstein (Blasensandstein) und feinkörniger schöner Bausandstein entwickelt, welcher in der mittleren Zone in dünnbankige, feinkörnige, vielfach verkieselte Sandsteine übergeht, welche ihrerseits Einlagerungen in violetten und rotbraunen Lettenschiefern und Mergeln bilden. Je mehr wir uns der äusseren Zone nähern, desto mehr treten die Sandbildungen zurück und verschwinden schliesslich gänzlich. Leitend für diese Stufe ist ein Ganoidfisch, *Semionotus*, wonach die Stufe lokal als Semionotensandstein ausgebildet ist.

Es folgt nun die Stufe des Burgsandsteines oder Stubensandsteines (70—140 m). In der Randzone ist hier ausschliesslich weisser, arkoseartiger Sandstein entwickelt, in welchen in der mittleren Zone sich Mergelgebilde z. T. mit einem petrefaktenführenden Horizonte (Heldburger Stufe) einschaltet. Gegenüber dem Blasensandstein beobachten wir eine weit grössere Verbreitung der Sandfacies, welche noch weit in die äussere Zone eingreift und sich erst dort allmählich verliert. Palaeontologisch ist der Stubensandstein als Stufe der Belodonten zu bezeichnen, einer mächtigen gepanzerten Landechse; ihm nahe verwandt war der zierliche, gleichfalls gepanzerte Landsaurier *Aëtosaurus ferratus*, und der gavialähnliche *Mystriosuchus planirostris*; auch eine mächtige Landschildkröte (*Proganochelys Quenstedtii*) stammt aus diesen Schichten. Sehr charakteristisch für die Sandsteine sind die zahlreichen Kieselhölzer, von Koniferen (*Araucarioxylon*) stammend. Auffallend ist das Verschwinden der Labyrinthodonten, so dass sich die Fauna als aus-

schliessliche Landfauna charakterisiert, in welcher selbst die sumpfliebenden Formen fehlen.

Die nächste Stufe nach oben besteht aus fetten, dunkelroten Lettenschiefern, in welchen der Mergel sich häufig zu Knollen geballt hat — Knollenmergel — und welche ausserdem durch das Vorkommen eines gewaltigen Dinosauriers (*Zanclodon laevis*) charakterisiert sind, wonach die Stufe auch als *Zanclodon*-Letten bezeichnet wird.

Die *Zanclodon*-Letten sind in der Randzone frei von Carbonaten, ebenso wie auch die Sandsteinbildungen fehlen oder nur durch lose rundliche Quarzkörner ersetzt sind. In der mittleren Zone, besonders in Württemberg, sind sie carbonathaltig und bilden die typischen Knollenmergel. Zuweilen tritt auch in dieser Zone in weiter Verbreitung eine feste, breccienartige, dolomitische Kalksteinbank mit Holzresten und Knochen auf. In der äusseren Zone verliert sich die Stufe der *Zanclodon*-Letten gänzlich, resp. lässt sich nicht mehr von den darunterliegenden Mergeln der *Belodon*-Stufe abtrennen.

Gehen wir wiederum auf die Entstehungsgeschichte der Gesteine des oberen Keupers zurück, so haben wir zunächst die zwei verschiedenen Faciesgebilde zu unterscheiden. Die Mergelfacies stellt die gleichmässige Weiterentwicklung, resp. Sedimentbildung am Grunde des Binnensees dar, welchen wir als echten Salzsee kennen gelernt haben. Diese Natur einer stark gesalzenen Lake behält der Keupersee auch während der Periode des oberen Keupers bei. Die Sandsteinfacies haben wir zweifellos als Küstengebilde dieses ausgedehnten Salzsees anzusehen. Dieser obere Keupersandstein zeigt aber sowohl petrographisch wie bezüglich seiner Lagerung einen ganz anderen Charakter als die Sandsteinbildung des unteren und mittleren Keupers (Lettensandstein und Schilfsandstein). An Stelle der weichen, ausserordentlich feinkörnigen, glimmer und thonreichen, rot oder braun gefärbten Sandsteine des unteren Keupers, treffen wir nun mehr oder minder grobkörnige, arkoseartige, weisse Sandsteine, in welchen der Glimmer zurücktritt, dagegen neben fettglänzendem Quarz Feldspat, zum Teil in Kaolin umgewandelt, vielfach aber von tadelloser Frische uns auffällt. Bezüglich der Lagerung haben wir zunächst die weite gleichmässige Verbreitung und den Mangel typischer Flutzonen, dieses charakteristische Merkmal der unteren Sandsteinbildungen, zu verzeichnen. Innerhalb der Ablagerung selbst fallen die schmitzen- oder bandartigen Einlagerungen von Thon auf, die sich, wie erwähnt, gegen die Aussenzone hin stetig mehren und schliesslich den Sandstein

ganz verdrängen. Thongallen fehlen aber auch in der Randzone nicht. Ganz charakteristisch ist ferner an vielen Horizonten die ausgesprochene Kreuzschichtung, die besonders bei der Verwitterung hervortritt.

Es fragt sich nun, wie wir uns dieses verschiedene Verhalten der oberen und unteren Sandsteinbildungen im Keuper zu erklären haben. Wir haben die unteren Sandsteine als fluviatile Bildungen erkannt, welche ihr Material hauptsächlich den Abschwemmungen aus den die Küste des Triasmeeres bildenden Schichten des Buntsandsteines und Rotliegenden entnahmen. Von dem Materiale des oberen Keupersandsteines können wir mit Sicherheit sagen, dass es einem krystallinischen Grundgebirge entnommen ist. Es ist ja an sich auch ganz plausibel, dass allmählich die Küstengebiete bis auf das Urgebirge denudiert wurden und dass aus denselben Gebieten, in welchen früher Material des Buntsandsteines verarbeitet wurde, nunmehr krystallinisches Material zur Verwendung kam. Wir könnten demnach untere und obere Sandsteine als Abschwemmungen aus ein und demselben Gebiet ansehen und beide als fluviatile Gebilde betrachten. Damit wären aber die Unterschiede nur teilweise erklärt. Gegen die rein fluviatile Bildung spricht der Mangel an tiefen Thalrinnen oder Flutzonen, die sich im oberen Keuper ebenso hätten ausbilden müssen, wie im unteren, da die Bodenbeschaffenheit der Uferzone des Salzsees dieselbe blieb. Vor allem aber spricht dagegen die weitausgedehnte, immerhin sehr gleichartige Verbreitung der mächtigen, über 100 m betragenden Gesteinsmassen. Eine derartige Ausbreitung des Materiales ist in Flussbildungen nicht denkbar; das könnte sich nur an der Küste eines weiten offenen Meeres in ungemein breiten Deltas unter Mitwirkung des Wellenschlages und der Meeresströmungen erklären lassen und dagegen spricht ausser der Abwesenheit eines solchen Ozeanes auch die intensive Kreuzschichtung, welche bei wässerigen Niederschlägen nur im rasch bewegten Wasser auftritt. Auch lässt sich die Tierwelt anführen, welche, wie erwähnt, eine ausschliesslich terrestrische ist. Diese Tiere hatten aber zweifellos auch innerhalb diesem Sandgebiete gelebt, wie z. B. die berühmte *Aëtosaurus*-Gruppe beweist; die 24 Echsen, welche bei Stuttgart im Stubensandstein gefunden wurden, sind sicherlich an der Stelle getötet, wo sie später gefunden wurden und nicht durch Zufall zusammengeschwemmt; ein Blick auf die Gruppe, welche, wie die Ausgüsse der pompejanischen Leichen, gleichsam das Leben noch in sich trägt, überzeugt uns, dass die Tiere einer ge-

waltsamen Katastrophe zum Opfer gefallen sind und offenbar durch einen Sandsturz begraben wurden. Dass es Landtiere waren, bezeugt ihre Organisation, und dass sie auf demselben Sande sich herumgetummelt hatten, in welchem sie auch verschüttet wurden, beweist die Lagerung. Folglich war das Sandgebiet des Stubensandsteines bei Stuttgart damals Festland und da keine Spur einer Verschwemmung bemerkbar ist, dürfen wir wohl annehmen, dass die Verschüttung auch nicht Folge einer plötzlichen Wasserflut war, sondern durch den Einsturz einer Sanddüne bei heftigem Sturme erfolgte. Auch bei den übrigen Funden im Stubensandstein, vor allem den berühmten Belodonten- und Schildkrötenresten von Stuttgart und Aixheim, zeigen sich niemals Andeutungen von Abrollung, obgleich die Skelettteile vielfach zerstreut liegen.

Auf eine äolische und nicht wässerige Bildung des Sandsteines weist auch der Gesteinscharakter hin. In den wässrigen Sedimenten wird das Material nach seiner Löslichkeit im Wasser verarbeitet und deshalb fallen hier die zersetzbaren Feldspate in erster Linie zum Opfer, während z. B. der Glimmer bestehen bleibt, in äolischem Materiale wird, wie bereits ausgeführt (siehe S. 54), nach der Widerstandsfähigkeit gegen Reibung, d. h. nach der Härte, gesichtet und hierbei spielt neben dem Quarz natürlich der Feldspat mit Härte 6 noch eine wichtige Rolle und kann sich lange halten. Die Kaolinbildung im Stubensandstein ist wohl sicher nicht als eine primäre, sondern erst als eine sekundäre anzusehen, wie uns die Feldspate in den durch Verkieselung frisch erhaltenen Sandsteinen zeigen. Der Windtransport war aber kein weiter und intensiver, wie etwa in den Sandwüsten des Hauptbuntsandsteines, denn sonst wären nicht bloss die Glimmer, sondern auch die Feldspate zu feinstem Staube aufgerieben worden, sondern er beschränkte sich auf die Küstengebiete am Süd- und Südost-Rande des Keupersees. Es braucht nach den früheren Ausführungen (S. 54) nicht weiter besprochen zu werden, dass die äolische Bildung am besten die weite gleichmässige Ausbreitung des Sandmaterials und die für die Dünenbildungen charakteristische Kreuzschichtung erklärt.

Ich möchte deshalb die Sandfacies des oberen Keupers als eine mächtige äolische Dünenbildung ansprechen, welche in breiter Zone den Keupersee umgürtete und ihr Material aus den durch allmähliche Denudation entblössten krystallinischen Gebirgszügen der südlichen und südöstlichen Küste bezog. An der flachen Seeküste

selbst kam es natürlich ununterbrochen zu paralischen Bildungen, indem hier einerseits die eingeschwemmten feineren Bestandteile zum Absatz kamen, anderseits auch häufig die Sandgebiete wieder überflutet und das äolische Sediment durch Wasser durchgearbeitet wurde.

Von Wichtigkeit ist noch eine weitere Erscheinung, nämlich das Vorschreiten der Sandfacies im Stubensandstein von der Randzone nach der äusseren Zone; sprechen wir die Sandfacies als eine terrestrische Bildung an, so bedeutet dies ein allmähliches Zurückweichen des Seeufers. Man könnte hier zunächst an eine verminderte Wasserzufuhr vom Lande her und an ein dadurch bedingtes Eintrocknen denken, doch halte ich dies nach der Natur des Gesteinsmaterials für ausgeschlossen. Bei einem derartigen Prozesse würden die Lösungen noch gesättigter geworden sein und dies müsste sich in den Sedimenten durch reichlichere Gips- und Salzbildung kundthun. Wir beobachten aber gerade das Gegenteil und es erscheint mir deshalb die Verschiebung des Ufers nicht durch Austrocknung, sondern durch Vertiefung des inneren Seebeckens hervorgerufen. Dies geschah durch eine allmähliche Senkung des Untergrundes, welche wahrscheinlich das ganze germanische Triasgebiet in sich einschloss, aber die nördlichen und westlichen Gebiete mehr erfasste, als die Randzonen selbst. Es bereitete sich damals eine erneute tiefgreifende Depression vor, deren Folgen wir später kennen lernen werden. Auch die *Zanclodon*-Letten, welche sich über den Sandgebilden ausbreiten, sind die Anzeichen neuer Änderungen, sie sind zurückzuführen auf eine erneute Sumpfbildung in den lange Zeit trocken gelegenen Uferzonen. Es wurde dies wohl dadurch hervorgerufen, dass sich auch die Ufergebiete so tief gesenkt hatten, dass sie wieder von den Fluten des Keupersees bespült wurden und in weite morastige Sümpfe verwandelt wurden, in welchen sich der riesige „schwäbische Lindwurm“, das *Zanclodon*, einnistete.

5. Die marinen Strandbildungen des Rhäts.

Eine ganz eigenartige Bildung schliesst den Keuper nach oben ab, Schichten, welche sowohl nach ihrem petrographischen Charakter, wie nach der Fauna eine Mittelstellung zwischen der Trias und dem darauffolgenden Lias zeigen. Man rechnet den Horizont noch zum Keuper und hat in ihm eine Parallele zu der rhätischen Formation der alpinen Trias erkannt.

Das Verbreitungsgebiet schliesst an dasjenige des bunten Keupers an und selbst in der Facies können wir analoge Beobachtungen machen,

wie in der darunterliegenden Formation. Obgleich eine Andeutung der rhätischen Schichten fast überall beobachtet werden kann, wenn es sich manchmal auch nur um kaum metermächtige Thonbänke oder ein fingerdickes Bonebed handelt, so liegt doch die eigentliche Entwicklung in den Uferzonen, d. h. in der randlichen und mittleren Keuperzone, wozu sich noch die Küstengebiete der Inseln innerhalb des Keupersees (siehe S. 82) gesellen.

Die Facies des Rhätes ist vorwiegend eine sandige in Gestalt eines feinkörnigen, glimmerreichen, kaolin- oder feldspatarmen, weissen oder lichtbraunen Sandsteines, der als geschätztes Baumaterial gesucht ist. Unter und zwischen dem Sandstein und besonders über demselben lagern häufig Schichten von grauem und fast schwarzem Thon, welche ebenso wie der Sandstein zuweilen kohlige Pflanzenreste einschliessen. In manchen Gegenden, z. B. in Württemberg, finden wir auch kleine Bänkchen jener eigenartigen, als Bonebed bezeichneten Trümmernmassen, welche sich grösstenteils aus Kopolithen und abgerollten Knochen und Zahnfragmenten zusammensetzen.

Die Mächtigkeiten des Rhätes sind ebenso schwankend, wie die Ausbildungsweise; in Württemberg scheint es manchmal gänzlich zu fehlen oder nur durch einige dunkle Thonbänke vertreten zu sein, welche sich vom Lias nicht abtrennen lassen; zuweilen stellt sich dann etwas Bonebed ein, oder aber finden wir Bonebedsandstein in schwankender, aber kaum 10 m übersteigender Mächtigkeit. Gegen Osten, im Fränkischen, schwillt der Sandstein auf 40 m an, ja, in der Oberpfalz steigt die Mächtigkeit des Rhätes lokal (Altenparkstein) bis 200 m; dabei werden die Sandsteine in dieser alten Küstenzone grobkörnig und kaolin- oder feldspatreich, ja, nehmen zuweilen ganz den Charakter eines granitischen Detritus an. Auch in Thüringen sind mächtige rhätische Thone und Quarzsandsteine bekannt, während im Westen in Elsass-Lothringen fette, tiefrote Thone zwischen den Sandsteinen und schwarzen Letten auftreten.

Sehr zahlreich sind die Überreste von eingeschwemmten Pflanzen in den rhätischen Sandsteinen und Thonen, sie häufen sich, wie erwähnt, zuweilen zu kleinen Kohlenflötzen an. Die Flora selbst steht in der Mitte zwischen der echt triassischen und der späteren jurassischen, und charakterisiert am besten die Zwischenbildung. Sie besteht aus zahlreichen Gefässkryptogamen und einigen zwanzig Gymnospermen. Wenn auch die Geschlechter, wie *Equisetum*, *Lepidopteris*, *Pterophyllum*, schon in dem unteren und mittleren Keuper ver-

treten sind, so sind doch die rhätischen Arten sehr abweichend und zu diesen gesellen sich neue Geschlechter, wie *Podozamites*, *Dictyophyllum* (*Thaumatopteris*) u. a., welche mit dem Rhät beginnen und im Jura und in der Kreide zur Hauptentwicklung kommen.

Für unsere Betrachtungen noch wichtiger als die Flora ist die Fauna. Wir haben dabei diejenige des Bonebeds von derjenigen der Sandsteine zu unterscheiden. Die Fauna des Bonebeds ist eine echt triassische, indem wir hier die zerriebenen Überreste von allen möglichen land- und wasserbewohnenden Wirbeltieren erkennen. Die Zähne der Selachierarten *Acrodus*, *Hybodus* und *Psammodus* stimmen mit denen der tieferen Triasschichten überein; sehr charakteristisch sind die *Saurichthys*- und *Sargodon*-Zähne, welche ebenso wie *Ceratodus* für die Trias leitend sind, am meisten tritt aber der triassische Charakter an den Landtieren *Metopias*, *Capitosaurus*, *Belodon* und *Myriosuchus* (*Termatosaurus*) hervor, in welchen wir durchgehend alte Bekannte aus dem Keuper erkennen. Neu ist das Auftreten der kleinen Säugetiere *Microlestes* und *Triglyphus*, deren seltene Überreste bis jetzt nur im Bonebed gefunden wurden. Wir haben die Bildung des Bonebeds (vergl. S. 79) als eine typische Strandbildung kennen gelernt und die Fauna des rhätischen Bonebeds lässt uns auf ein rasches Absterben der triassischen Wirbeltierwelt schliessen, welches offenbar hervorgerufen wurde durch eine Änderung in den Lebensbedingungen dieser Tiere. Bei den im Wasser lebenden Tieren muss dies eine Verschiedenheit in der Zusammensetzung des Wassers, bei den landlebenden Arten eine Überflutung des Landes mit Wasser gewesen sein. Eine treffliche Bestätigung dieser Anschauung erhalten wir aus der Fauna der rhätischen Sandsteine. Schon die petrographische Beschaffenheit dieser Sandsteine weist im Gegensatz zu dem Stubensandstein auf eine Sedimentbildung im Wasser hin, indem ich nur auf die früheren Ausführungen (S. 94) verweise. Die Fauna lehrt uns weiter, dass dieses Wasser den Charakter des Meeres trug, denn was wir in den Sandsteinen finden, gehört einer echten marinen Uferfauna an und zwar Formen des vagilen Benthos. Wohl finden wir noch einigen Anklang an die Muschelkalk- und Lettenkohlenfauna, wie z. B. in den Myophorien vom Typus der *M. vulgaris* (*M. postera*), und in den Gasteropoden aus der Gruppe *Pseudonerita* und *Loxonema*, aber diese Arten treten zurück gegenüber den neu auftretenden Formen, welchen QUENSTEDT mit Recht so häufig den Speciesnamen *praecursor* gegeben hat, denn sie sind in der That die Vorläufer

der späteren liassischen Typen. Zum ersten Male treten glatte Plagiostomen (*Pl. praecursor*), scharfrippige Pectiniden (*Pecten valoniensis* und *cloacinus*), gerippte Venericardien (*V. praecursor* und *Cardita multiradiata*) und Cardien (*Cardium cloacinum*) und eine Reihe anderer Typen auf. Von besonderer Häufigkeit sind die kleinen Protocardien (*Protocardia Ewaldi*, *rhaetica* und *Philippiana*), die schlanken Gervillien (*G. praecursor*) und Mytiliden (*Modiola minuta*) und das charakteristische Leitfossil der rhätischen Formation, *Avicula contorta*.

Natürlich drängt sich nun die Frage auf, woher kam plötzlich diese fremdartige Fauna und wie konnten überhaupt nun marine Bildungen an Stelle der Binnensee- und Dünenbildungen treten. Wir stehen hier zweifellos vor einer analogen Erscheinung, wie bei der Grenze von Buntsandstein und Muschelkalk und müssen auch hier bei der rhätischen Formation ein Eindringen des offenen Oceans in das Binnenseegebiet der germanischen Trias annehmen. So viel lässt sich jedenfalls mit Sicherheit sagen, dass die Entwicklung der rhätischen Fauna aus der älteren triassischen nicht innerhalb der germanischen Triasprovinz vor sich ging, sonst müssten wir doch irgendwo in Deutschland, Frankreich oder England Spuren davon finden; sie ging vor sich in dem offenen Ocean zu einer Zeit, als die Verbindung mit unserem Gebiet abgeschnitten war; wenn nun zu Ende der Trias plötzlich wieder eine echt marine Fauna auftritt, so lässt dies auf eine erneute Verbindung mit dem Ocean schliessen. Dieses Eindringen des Oceans ist aber zugleich der Beginn einer neuen geologischen Periode, welche wir als Lias und Jura bezeichnen. Wir wissen auch aus zahlreichen Untersuchungen, dass die Transgression des Jura von Südwesten gegen Osten vorschreitet und dürfen daraus schliessen, dass auch der Einbruch des Meeres zur rhätischen Zeit aus Südosten, ähnlich wie derjenige des oberen Muschelkalkes kam. Ich möchte daher die rhätischen Bildungen innerhalb der germanischen Triasprovinz als die Küstenzonen des vordringenden Jurameeres bezeichnen.

Eine ganz auffallende Erscheinung ist das plötzliche und nur untergeordnet durch die rhätischen Schichten vermittelte Auftreten des echt oceanischen Lias auf dem Keuper. Wohl lässt sich im Osten am Rande des vindelicischen Gebirges eine langsame Transgression des Meeres beobachten, aber für den grössten Teil unseres Gebietes, so für das ganze östliche und nördliche Frankreich, sowie

das südliche England, ebenso für Elsass-Lothringen, Luxemburg, Baden und Württemberg, sowie einen grossen Teil von Norddeutschland gilt dies nicht. Unvermittelt tritt hier die oceanische Bildung des Lias an Stelle der Binnenseebildungen des Keupers. Ich kann mir dies kaum anders, als durch ein plötzliches katastrophentartiges Einbrechen der oceanischen Fluten über ungeheuer weite Strecken hin denken. Dies war aber nur möglich, wenn dieses Gebiet bereits vorher schon tiefer als der Meeresspiegel lag, d. h. ein weites, grosses und tief unter das Meeressniveau reichendes Depressionsgebiet war. Andeutungen von Senkungen innerhalb der germanischen Trias liessen sich verschiedenfach und besonders zur Zeit des oberen bunten Keupers beobachten und wir müssen annehmen, dass diese Senkungen zur Ausbildung eines grossen Depressionsgebietes führten, in welches mit Beginn der Juraperiode die Fluten des Oceans einbrachen.

Wir können auch erkennen, dass diese Katastrophe von den schlimmsten Folgen für die damalige Tierwelt war. Die Knochenanhäufungen der Bonebeds sind die Kirchhöfe der Wirbeltierfauna, ja, wir können, soweit unsere Kenntnis reicht, sagen, dass überhaupt die gesamte küstenbewohnende Tierwelt des germanischen Keupers durch den Einbruch des Jurameeres bis auf das letzte Stück vernichtet wurde. Kein *Labyrinthodon*, kein *Belodon*, *Aëtosaurus*, *Zanclodon*, ja nicht einmal die Fische, wie *Semionotus* und *Ceratodus*, zeigen Nachkommen in den späteren Formationen, und wenn wir je in jüngeren Ablagerungen Tieren begegnen, welche mit den Keuperformen Verwandtschaft zeigen (z. B. *Iguanodon* und *Zanclodon*), so dürfen wir sicher annehmen, dass die Entwicklung nicht in den Gebieten der germanischen Triasprovinz vor sich gegangen ist. Ohne Anhänger der alten Katastrophentheorie zu sein, müssen wir doch zugeben, dass sie hier, wenn auch auf ein verhältnismässig kleines Gebiet beschränkt, ihre Berechtigung hat.

Schluss.

Wir sind am Schlusse. Ein überaus wechselvolles Bild entrollt sich vor unseren Blicken, wenn wir im Geiste die verschiedenen Zeiten der Triasformation an uns vorüberziehen lassen. Da sehen wir zuerst die weiten Tiefebene vom Wüstensturm durchwühlt und mit tiefen Sandmassen überschüttet (Hauptbuntsandstein), erneute Senkungen und klimatische Wechsel verwandeln die Sandwüste in eine Lehmwüste und in den Niederungen sammeln sich die Gewässer,

weite ausgedehnte Sümpfe bildend (Röt). Die Senkungen gehen schliesslich so weit, dass das Meer im Osten Zutritt zu der Niederung bekommt und an Stelle der Wüsten und Sümpfe flutet nun das Meer (Unterer Muschelkalk). Die Bewegungen des Untergrundes dauern aber fort und geben sich in einer Drehung der Senkung kund, so dass im Osten das Meer vom Ocean abgeschnürt wird, während sich im Westen tiefe Senkungen ausbilden. Ehe aber diese westliche Depression so weit vorgeschritten ist, dass dort die Verbindung mit dem offenen Meere geschaffen ist, blieb das Muschelkalkmeer lange Zeit als Binnenmeer abgeschnürt, in welchem sich übersättigte Minerallösungen ausbildeten (Mittlerer Muschelkalk). Der Einfluss des offenen Meeres von Westen und Südwesten bringt erneutes Leben in die fast gänzlich ausgestorbene Tierwelt (Oberer Muschelkalk). An Stelle der bisher vorherrschenden Senkungen treten Hebungen; die Tiefsee wird zur Flachsee (Muschelkalkdolomit) und zum schlammigen Ufer, welchem von dem Küstenland her durch Flüsse Sand mit Landpflanzen zugeführt werden (Lettenkohle und Lettenkohlsandstein). Ein kurzer letzter Versuch des Oceans, das Feld zu behaupten (Grenzdolomit), misslingt und endgültig wird das Meer von den weit ausgedehnten Niederungen abgeschlossen, welche, vom Wasser erfüllt, den Charakter gesalzener und übersalzener Binnenseen tragen (Bunter Keuper). An den Küsten dieses grossen Sees beobachten wir im unteren Keuper, durch leichte Hebung hervorgerufen, eine Versandung, welche besonders die durch Strömungen gebildeten Thalrinnen erfüllt (Schilfsandstein). Später tritt eine anhaltende Senkung ein, durch welche weite Strecken der Küste trocken gelegt werden und dort bilden sich ausgedehnte Sanddünen (Stubensandstein). Die fortgesetzte Senkung wandelt schliesslich das Keupergebiet in ein weites Depressionsgebiet um, in welches das offene Meer erst langsam, dann aber stürmisch und alles in seinen Fluten begrabend, einbricht (Rhät und Jura).

Was wir hier vorgeführt sehen, hat sich ja auf einem sehr beschränkten Gebiete unseres Planeten und in einem verhältnismässig kurzen Abschnitt unserer Erdgeschichte abgespielt, aber auch so giebt es uns einen Begriff von dem ununterbrochenen Wandel und Wechsel auf unserer Erdkruste, der seit den ältesten Zeiten bis zur Jetztzeit andauert hat und auch in Zukunft dauern wird, es giebt uns einen Einblick in die Werkstätte der ewig schaffenden Natur.

Stuttgart, Herbst 1898.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Jahreshefte des Vereins für vaterländische Naturkunde in Württemberg](#)

Jahr/Year: 1899

Band/Volume: [55](#)

Autor(en)/Author(s): Fraas Eberhard

Artikel/Article: [Die Bildung der germanischen Trias, eine petrogenetische Studie. 36-100](#)