

Die Binnenmeerfazies der Trias.

Von **A. Tornquist** (Königsberg i. Pr.).

Literatur über die Genese der Triassedimente.

- J. WALTHER**, Das Gesetz der Wüstenbildung. Berlin 1900.
— Über die Fauna eines Binnensees in der Buntsandsteinwüste. Zentralbl. für Min., Geol. etc. 1904, S. 5.
— Estheria im Buntsandstein. ebenda. S. 195.
— Geschichte der Erde und des Lebens. Leipzig 1908.
E. FRAAS, Die Bildung der germanischen Trias etc. Jahresh. für vaterl. Naturkunde. Stuttgart. 1899. S. 2.
E. PHILIPPI, Lethaea geognostica. II. 1. 1903.

- v. KOKEN, Über die Buntsandsteinwüste. Zentralbl. für Min., Geol. etc. 1904. S. 107.
- E. WÜST, Die erdgeschichtliche Entwicklung und der geologische Bau des östl. Harzvorlandes. Halle 1908.
- E. v. KOKEN, Ist der Buntsandstein eine Wüstenbildung? Jahresh. für vaterl. Naturkunde. Stuttgart 61. 1905. S. LXXVI.
- A. TORNQVIST, Das vizeninische Triasgebirge. Stuttgart 8. 1900. S. 93.
- Die karbonische Granitbarre zwischen dem ozeanischen Triasmeer etc. N. Jahrb. für Min. Geol. etc. B. B. XX. 1905. S. 466.
- Über die ausseralpine Trias auf den Balearen und in Katalonien. Sitzungsber. d. Kgl. Pr. Akad. 1909. XXXVI. S. 902.
- Über die Trias in Sardinien und die Keupertransgression in Europa. Ztschr. d. D. geol. Gesellsch. 56. 1904. S. 151.
- M. BLANCKENHORN, Der Hauptbuntsandstein ist keine echte Wüstenbildung. Ztschr. d. D. geol. Ges. 59. 1907. S. 297.
- E. KAYSER, Lehrbuch der geol. Formationskunde. Stuttgart 1911.
- G. LINCK, Über die Bildung der Oolith- und Rogensteine. Jenaische Ztschr. für Naturw. 45. 1909. S. 268.
- E. KALKOWSKY, Oolith und Stromatolith im norddeutschen Buntsandstein. Ztschr. d. D. geol. Ges. 60. 1908. S. 247.
- H. FISCHER, Experimentelle Studien über die Entstehung von Sedimentgesteinen. Ebenda 62. 1910. S. 247.
- M. BRÄUHÄUSER, Erläuterungen zu Blatt Schramberg. Stuttgart 1909.
- E. ZIMMERMANN, Buntsandstein bei Saalfeld. Ztschr. d. D. geol. Ges. 59. 1907. S. 228.
- L. VAN WERVEKE, Sandsteinplatten mit Trockenerscheinungen. Ber. oberh. geol. Vereins 1907. S. 32 f.
- A. WURN, Untersuchungen über den geologischen Bau und die Trias von Aragonien. Ztschr. d. D. geol. Ges. 63. 1911. S. 38.
- O. REIS, Schichtenfolge und Gesteinsausbildung in der fränkischen unteren und mittleren Trias. Geogn. Jahresh. München 1909. S. 1.
- F. ZELLER, Beiträge zur Kenntnis der Lettenkohle und des Keupers in Schwaben. Zentralbl. für Min. Geol. etc. 1907. S. 19–42.
- Beiträge zur Kenntnis der Lettenkohle und des Keupers in Schwaben. N. Jahrbuch für Min. Geol. etc. B. B. 25. 1908. S. 1.
- R. LANG, Der mittlere Keuper im südlichen Württemberg. Jahresh. für vaterl. Naturkunde. Stuttgart 65. 1909. S. 78.
- Über die Lagerung und Entstehung des mittleren Keupers im südlichen Württemberg. Zentralbl. für Min. Geol. etc. 1909. S. 41.
- Beitrag zur Stratigraphie des mittleren Keupers etc. Geol. und pal. Abhandlungen. N. 7. 9. 1910.
- Das vindelizische Gebirge zur mittleren Keuperzeit. Jahresh. für vaterl. Naturkunde. 67. 1911. S. 218.
- W. PAULCKE, Fossilführender „Röthidolomit“. Zentralbl. für Min. Geol. etc. 1911. S. 15.

Eine Gesamtdarstellung unserer Kenntnisse von der Binnenmeerfazies der Trias ist zuletzt im Jahre 1903 in dem 1. Heft des II. Teiles der *Lethaea geognostica* und zwar von E. PHILIPPI mit Beiträgen von FR. FRECH gegeben worden. Im Laufe der verfloßenen 8 Jahre sind aber eine grössere Anzahl von Arbeiten erschienen, welche weitere wesentliche Beiträge zur Kenntnis dieser Fazies der Triasformation enthalten. Diese Untersuchungen erstrecken sich z. T. auf

die Stratigraphie, auf die fossilen Einschlüsse der Triasschichten in den verschiedenen Gebieten und auf die Parallelisierung mit den Stufen des pelagischen Triasprofils, z. T. auf die Deutung der Entstehung der Gesteine, bezw. der Sedimente, aus denen die letzteren hervorgegangen sind. Von Interesse sind ferner die Untersuchungen, welche in den ausserhalb Deutschlands gelegenen Gebieten mit Trias von Binnenmeerfazies angestellt worden sind.

a) Die Genesis der Triasgesteine.

Die seit den ersten Untersuchungen von WERNER, VON BUCH und VON ALBERTI in der deutschen Trias erkannte, relativ scharfe Dreiteilung der Binnenmeertrias hat sich auch neuerdings in den ausserdeutschen Ländern bis weit hinein in das südliche westmediterrane Gebiet verfolgen lassen. Nur in den äussersten Randgebieten ihres Vorkommens, in Grossbritannien und Skandinavien, nahe der nördlichen und westlichen Grenze des triadischen Binnenmeeres verschwindet sie. Darüber ist auch niemals ein Zweifel gewesen, dass der Buntsandstein, Muschelkalk und Keuper ihren Ursprung wesentlich von einander abweichenden allgemeinen Verhältnissen verdanken.

Die Entstehung des Buntsandsteins ist am meisten umstritten worden. Während der Buntsandstein lange Zeit allgemein für eine Flachmeerbildung gehalten worden ist, stellte I. G. BORNEMANN¹⁾ im Jahre 1889 zuerst Vergleiche unseres Buntsandsteins mit dem grossen Küstendünengebiet von Ingortosu an der Westküste Sardinien an. EB. FRAAS²⁾ hat dann im Jahre 1899 den Versuch unternommen, unseren Buntsandstein ausschliesslich als Wüstenbildung des Festlandes zu deuten. Er hält eine Verfrachtung von so schwerem Material, wie es der häufig mittelkörnige Sand darstellt, über die ganze Fläche der Buntsandsteinbedeckung durch Meerwasser für undenkbar, ebenso vermisst er eine durch Wasser stets hervorgebrachte Faziesdifferenzierung innerhalb eines grossen Teiles des Buntsandsteins. Der Sand soll nach ihm daher allein durch Windwirkung über die Fläche verfrachtet sein. Die häufig zu beobachtende Diagonalstruktur ist Dünenstruktur. Nur dort, wo Einschaltungen mit *Gervillia Murchisoni* auftreten, liegen Binnenmeerbildungen vor. Der gleichförmige Aufbau des Buntsandsteins aus Quarzkörnern und Ton soll durch Windauslese zustande gekommen sein, die Kuottenerze der Eifel sollen Binnenseebildungen³⁾, die Oolite im unteren Buntsandstein am Südrand des Harzes sollen als Relikte des Zechsteinmeeres auf sekundärer Lagerstätte liegen etc. Die Konglomerate des Buntsand-

¹⁾ Über den Buntsd. in Deutschland und seine Bedeutung für die Trias etc. Jena 1889.

²⁾ Die Bildung der germanischen Trias, eine petrogenetische Studie. Jahresh. Vat. Naturk. Württembg. 1899.

³⁾ Für sie ist die epigenetische Bildung wegen ihrer Verbindung mit tertiären Bleiglanzlagern wohl heute sicher gestellt.

steins sollen z. T. ein „durch Wind verschlepptes Geröllmaterial aus Flussbetten“, z. T. Überreste einer Kieswüste darstellen.

Diese Ansichten über die äolische Entstehung des Buntsandsteins wurden ähnlich auch von JOH. WALTHER in dem bekannten Werke „Das Gesetz der Wüstenbildung. Berlin 1900“ vertreten, wie sie bei ER. FRAAS auch offenbar durch die Lektüre einer älteren Arbeit von WALTHER¹⁾ mit ausgelöst worden waren. JOH. WALTHER hat seine heutige Auffassung — und nur diese ist von Interesse — von der Bildung des Buntsandsteins neuerdings in einem populär geschriebenen Buch „Geschichte der Erde und des Lebens“ vorgetragen. Für eine wissenschaftliche Diskussion ist diese allgemeine Darstellung allerdings weniger geeignet als zwei Notizen dieses Autors im Zentralblatt für Min.-Geol. etc. aus dem Jahre 1904. Die in der „Geschichte der Erde“ niedergelegte Auffassung wird am besten durch die folgenden Sätze präzisiert: „Perioden hindurch trug der Wind von den aus dem Schiefermantel heraustauchenden Granitstöcken quarzreichen Sand zu Tale, lockerte die Schutthalden am Fusse des Gebirges, und wenn endlich nach langer Trockenheit ein Wolkenbruch dort herniederstürzte, dann flutete je nach den Umständen ein dünner Sandbrei oder geröllreicher Schlamm weit in die Wüste hinein. So schalteten sich zwischen die so oft treffliche Dünenschichtung zeigenden Sandbänke Zungen von grobem und feinem Geröll, aber das Vorwiegen des Quarzes, die oft sehr höckerige Oberfläche der Gerölle lässt uns leicht erkennen, dass kein langer Wassertransport erfolgte. Bald trocknet das eben überschwemmte Gelände ab, wieder jagte der Sandwind über die Ebene, schliff und frass an den Geröllen, erzeugte seltsame Vertiefungen und treffliche Dreikanter“. JOH. WALTHER nimmt demnach auch zur flächenweiten Verbreitung des Buntsandsteinsandes eigentlich nur den Wind in Anspruch; allein der Transport des Materiales an den umrandenden Gebirgen soll durch gelegentlich anschwellende Ströme erfolgt sein. Allerdings sieht er die den Sanden gelegentlich eingeschalteten *Estheria* — reichen Tonschichten als die Bildung lokaler, flacher, vergänglicher Seen an. Während der Bildung der von Thüringen bis nach Waldeck, von Sachsen bis zum Harz verbreiteten Bänke mit *Gervillia Murchisoni*, *Turbonilla Weissenbachi* soll sich das Buntsandsteingebiet gelegentlich wiederum in — besser wohl unter — dem Niveau des Meeres befunden haben und das Meer spielend in das Wüstengebiet eingetreten sein, um dann wieder der Wüste zu weichen.

WALTHER hatte bereits im Jahre 1904 ausführlich seine Auffassung über die im mittleren Buntsandstein Thüringens auftretenden Gervillienbänke dargelegt. In diesem Jahre waren von ihm und KOLESCH eine Gervillienbank wiedergefunden worden, welche von WEISSBACH in den sechzigern Jahren entdeckt worden war. Er erkannte ca. 70 m unter der Rötgrenze einen sehr fossilreichen Horizont, welcher in unverwittertem Zustand lebhaft rot gefärbt ist und durch seine Tonarmut auf-

¹⁾ Die Denudation in der Wüste und ihre geolog. Bedeutung. Leipzig 1891.

fällt; sowohl der Horizont selbst, als auch die hangenden und die liegenden Schichten zeigten deutliche Diagonalschichtung. WALTHER bezweifelte zugleich, dass ausser diesem Horizont noch ähnliche andere Fossilhorizonte im thüringischen Buntsandstein aufträten. Für die Entstehung dieses Horizontes sollte nach WALTHER die Annahme einer kurzen Periode der Entstehung eines Binnensees in der langandauernden leblosen Sandwüstenzeit genügen. Dieser See sollte abflusslos sein. Er vergleicht ihn mit dem abflusslosen Salzsee in der Sandwüste Taklamakan in Zentralasien, an den SVEN VON HEDDIN nach Durchquerung der Wüste gelangte. Wie dort denkt sich WALTHER auch die Möglichkeit der Verlegung oder Wanderung des Buntsandsteinbinnensees.

Ein wenig später wies aber VON KOENEN darauf hin, dass die Sandsteinbänke mit *Gervillia Murchisoni*, *Estheria Germari* etc. weit über Thüringen mindestens bis zum Harz und bis nach Waldeck hinein vorkommen. Auch finden sich nach E. WÜST (1908) in Thüringen eine grössere Anzahl von Fossilhorizonten übereinander. Unter dem Zwange dieser Feststellungen hat WALTHER denn auch die ursprüngliche Auffassung der Bildung eines Binnensees, wie oben wiedergegeben wurde, zugunsten der Meereseinbrüche in das Buntsandsteingebiet abgeändert.

Es kann nicht verkannt werden, dass diese neue Konzession, zu welcher die Wüstenauffassung durch die weite Verbreitung mehrfach übereinander liegender *Gervillia*-Bänke gezwungen worden ist, im Grunde genommen schon eine schwere Bresche in ihrer konsequenten Anwendung bedeutet.

Ausführlichere mit eingehenden Begründungen versehene Bedenken gegen die im wesentlichen durch Wind und nicht durch Wasser bewirkte Ablagerung des Buntsandsteines sind gegenüber WALTHER und EB. FRAAS, sodann von VON KOKEN, BLANCKENHORN und TORNQVIST erhoben worden, aber ohne dass dieselben leider in den vielfachen populären Darstellungen von JOH. WALTHER berücksichtigt worden wären. Doch ist E. KAYSER auf diese Einwendungen ganz neuerdings durch weitere kritische Erörterungen in seiner überaus gründlichen „geologischen Formationskunde“ kritisch eingegangen, indem er sich neuerdings wieder der WALTHER'schen Ansicht angeschlossen hat.

Der Auffassung des Buntsandsteins als Wüste hat TORNQVIST bereits im Jahre 1900 mehrere Bedenken entgegen gehalten, welchen sich von ECK damals sofort anschloss. Ersterer wies auf die gleichartige Erscheinung des alpinen Buntsandsteins hin, welcher sich über ähnliche weite Flächen hinerstreckt, gleiche Schichtverbände, Korngrösse etc. zeigt und doch wegen seiner in allen Schichten auftretenden Muschelschalen, den Myaciten, ganz abgesehen von den kalkigen Einlagerungen der Gastropodenkalke und der *Tirolites cassianus* — Schichten, unbedingt als ein ozeanisches Sediment angesehen werden

muss und auch allgemein — sogar von J. WALTHER — angesehen wird. Besteht aber für die Gleichkörnigkeit, Kreuzschichtung und Ausdehnung des mediterranen Buntsandsteins kein Hindernis, ihn bei der Fossilführung für eine Wasserbildung zu halten, so müssen diese Argumente auch für den nördlichen Buntsandstein einigermaßen zwingend sein.

Unterdessen hatte E. PHILIPPI die Trias für die Lethaea geognostica bearbeitet. Derselbe schränkte das Ausmass des Windtransportes noch weiter ein, er nimmt diesen höchstens für die tonfreien, groben Sandsteine des mittleren Buntsandsteins und nicht für tonhaltige Sandsteinlager in Anspruch, da aus demselben Wind nicht Sand und Ton gleichzeitig ausfallen kann¹⁾.

Prinzipiell abweisend gegenüber der Wüstenerklärung stellte sich auch sehr bald v. KOKEN (1904). Er wies darauf hin, dass Diagonalschichtung nicht nur in Dünen vorkäme, sondern besonders charakteristisch für Sandbänke ist, die sich an den Küsten beständig verschieben. Es kann hier hinzugefügt werden, dass an allen Sandküsten und in allen mit Sand erfüllten grossen Meeresbuchten, wie beispielsweise in der Danziger Bucht eine so starke Sandversetzung durch die wechselnden Winde und die durch sie erzeugten Strömungen herrscht, dass eine starke Diagonalschichtung ausserordentlich viel stärker auftreten muss, als in Dünengebieten²⁾. Treffend hebt v. KOKEN ferner hervor, dass die relativ grosse Ausdehnung des Sandsteins sicher nicht gegen Wassertransport spricht, der oberkambrische Potsdam-Sandsteine bedeckt in Nordamerika noch grössere Flächen und enthält doch stellenweise reiche Meeresfauna. Ausser den Pflanzen und Landorganismen enthält der nordwestdeutsche Buntsandstein aber *Gyrolepis*, der doch wahrscheinlich ein mariner Fisch gewesen ist. Sodann zeigt die Ablagerung des Buntsandsteins deutlich eine Transgression, wie sie nur einem Wassersediment zukommen kann. v. KOKEN hat damit sehr klar alle von FRAAS, WALTHER und PHILIPPI benutzten Argumente gerichtet. BLANKENHORN machte aber im Jahre 1907 weitere Einwände gegen die Ergebnisse der WALTHER'schen Wüstenforschungen selbst. Er wies auf die dem

¹⁾ Dass die „modernen Sanddünen tonfrei“ sind, ist allerdings ein Irrtum. In den Dünen der Kurischen Nehrung, ebenso wie an der Wüste sind viele Tonhäutchen eingelagert; ihr Material fällt bei ganz schwachem Wind als Staub auf die Dünen.

²⁾ Die Diagonalschichtung in Dünen wird überhaupt ganz ausserordentlich überschätzt. Meist geht die Vorstellung dabei von der Betrachtung des kuppigten niedrigen Kleindünengebietes unserer Meeresküsten aus. Bei grossen Kontinentaldünen, auch bei den grossen Wanderdünen unserer Nehrungen tritt die Diagonalschichtung meist ganz zurück. Die Dünen sind stets nur parallel der Leeseite geschichtet (vgl. Geologie von Ostpreussen S. 208). Nur an solchen Flanken, an denen die Gestalt der Leeseite wechselt, entsteht Diagonalschichtung, im grossen auch zwischen älteren Dünenresten und jüngeren Dünenzügen. In JOH. WALTHERS „Das Gesetz der Wüstenbildung“ ist über diese geologisch wichtige Frage der Dünenschichtung fast gar nichts mitgeteilt.

Buntsandstein ähnliche Erscheinung des Nubischen Sandsteins hin, in dem aber Bonebeds aus Schildkröten-, Krokodil- (?) oder Ichthyosaurus- (?) Resten mit Sandsteinbänken voller Pflanzenreste wechsellagern, ebenso Schichten mit Wellenfurchen. Es gelang aber, in dem Nubischen Sandstein daneben Ostreiden, *Plicatula* und *Inoceramus* aufzufinden. BLANCKENHORN erinnert auch an die im mittleren Buntsandstein gefundenen Pflanzen: *Equisetum*, *Pleuromioia*, *Voltzia* etc., welche am Rande des Buntsandsteinbeckens eine nennenswerte Flora voraussetzen. Auch weist BLANCKENHORN darauf hin, dass die Kieswüsten in Ägypten wenigstens nicht das Produkt des denudierenden Windes sondern akkumulierenden Wassers sind, was WALTHER vollständig entgangen sei, dass deshalb die Konglomeratbänke des Buntsandsteins, selbst wenn sie jenen nach FRAAS entsprechen sollten, absolut nicht als Windablagerung aufzufassen sind.

Auch sonst glaubt BLANCKENHORN die Auffassungen WALTHER's über die Kieswüsten der Sinaiwestküste und Turkmeniens berichtigen zu müssen und tritt auch einer grösseren Anzahl von anderen in „dem Gesetz der Wüstenbildung“ gegebenen Darstellungen kritisch entgegen, so besonders den Beschreibungen rotgefärbter Wüstenablagerungen, von denen später die Rede sein wird. Es ergibt sich hieraus, dass die Darstellungen WALTHER's über Wüstenbildungen nur zum Teil als Grundlage für den Vergleich mit fossilen Sandsedimenten, wie dem Buntsandstein, dienen können. Aus der gründlichen Beobachtung heutiger Wüsten ergibt sich vielmehr gerade, dass der Buntsandstein im wesentlichen im seichten Wasser abgesetzt ist; die eigentliche Buntsandsteinzeit muss sogar wieder allmählich erhöhte Niederschläge, lateritische Zersetzung der Festländer gebracht haben, so dass sich die während der Zechsteinzeit angesammelten Schuttmassen in Bewegung setzten und in Form einer „grossen Transgression, die, abgesehen von kleineren Schwankungen zur Zeit der fluviatilen Konglomeratbildung erst zu Beginn oder während des oberen Buntsandsteins gleichzeitig mit einer Vertiefung des Beckens ihr Ende erreichte“.

Auf die Unmöglichkeit, den süddeutschen Buntsandstein als Wüstenbildung aufzufassen, wies sodann TORNQVIST (1905) hin. Speziell im Reichslande hat die geologische Detailkartierung eine ausserordentlich grosse Übereinstimmung in der Mächtigkeit der hier gut zu trennenden Buntsandsteinetagen ergeben. Diese auf wenige Meter genau übereinstimmende Mächtigkeit der einzelnen Buntsandsteinstufen in dem grossen Gebiete Lothringens und des Unterelsass von Westen nach Osten, und die regelmässige Ausbildung ganz unscheinbarer, petrographischer Eigentümlichkeiten auf weite Strecken, ist nur bei einem Wassersediment zu verstehen. Die fast stets genau 20 m mächtige Ausbildung des Hauptkonglomerats über ein ebenso weites Gebiet nach allen Richtungen hin, widerspricht der Annahme einer Flussbildung über dem Meeresniveau. Das Hauptkonglomerat kann vielmehr nur als die Bildung einer grossen Strandabspülung

und damit gleichzeitiger grosser Sedimentversetzung am Grunde eines Meeres unter dem Einfluss mächtiger Strömungen und starker Brandungen aufgefasst werden. Das am Strande des Buntsandsteinmeeres durch vorangegangene Auswaschung übrig gebliebene, grobe Geröllmaterial meist von unverfestigten permischen Ablagerungen stammend wurde durch eine klimatische Katastrophe in grosser Menge in das Buntsandsteinmeer gespült und hier durch die Strömung als sog. Strandversetzung flächenweit ausgebreitet. Eine Bestätigung dieser Ansicht hat neuerdings BRÄUHÄUSER gelegentlich der Aufnahme des Blattes Schramberg im Schwarzwald beigebracht. Nach ihm stammen die Gerölle des im mittleren Buntsandstein liegenden Eck'schen Konglomerates sowie der höheren Konglomerathorizonte aus Rotliegenden Ablagerungen (Porphy-Kieselhölzer-Gerölle); auch konnte er feststellen, dass die Korngrösse der Geröllschichten von SO nach NW abnimmt, ebenso wie zu erkennen ist, dass die Gerölle der jüngeren Konglomeratbildungen mehr gerundet sind als diejenigen der älteren.

Für die Beantwortung der Frage der Entstehung des Buntsandsteins sind ferner noch einzelne Funde herangezogen worden, welche einerseits in von ZIMMERMANN aufgedeckten, charakteristischen Geröllen mit Windschliffkanten von Saalfeld bestehen, andererseits Tutenmergel (beim Eintrocknen aufgerollte Tonhäutchen)¹⁾ aus dem Saargebiet und aus Hessen betreffen, über die VAN WERVEKE (Vogesen-sandstein bei St. Gangolph bei Mettlach) und E. KAYSER (Gisselberg bei Marburg) berichtet hat. Diese Funde zeigen ja ebenso wie die Thüringischen Chirotherienspuren oder die Trockenrisse in bestimmten Buntsandsteinbänken mit Sicherheit einen flachen Sandstrand an, auf welchem durch Trockenlegung gelegentlich festes Land entstand und in dessen Nähe auf dem Trockenen Windwirkungen stark bewegten Sandes oder auch die Bildung von Trockenrissen eintraten. Es ist aber keinesfalls angängig, aus diesen Funden in bestimmten Gebieten allgemein gültige Schlüsse auf diese Vorgänge im ganzen Verbreitungsgebiet des Buntsandsteins zu ziehen. Wenn die Tuten-schichten im mittleren Saargebiet oder bei Marburg beobachtet wurden, so befand sich hier bekannterweise die teils als Festland, teils als Untiefe aus dem Buntsandsteinmeer aufragende Ardenneninsel bzw. das Rheinische Massiv in der Nähe. Bei Saalfeld liegt dagegen die nördliche Verlängerung des Fichtelgebirges, welcher die Rolle eines nach Norden vorgeschobenen Teils des vindelizischen Festlandes zukam. Diese Erscheinungen treten daher ebenso wie die Trockenrisse in Thüringen eben nur in der Nähe von Küstenrändern bzw. von Inselgebieten des Buntsandsteinmeeres auf. Ihr Nichtvorhandensein in den anderen Buntsandsteingebieten liefert daher eher den Beweis einer sonst vorhanden gewesenen kontinuierlichen Wasserbedeckung.

¹⁾ Auf die Entstehung ganz analoger Bildungen am heutigen Badestrand von Trouville hat M. SCHMIDT kürzlich hingewiesen.

In eingehende sachliche Erwiderung dieser gegen die äolische Entstehung des Buntsandsteins vorgebrachten Einwände geht E. KAYSER ein. Die Betrachtung der im Buntsandstein vorkommenden Fossilien lässt nach KAYSER leider keine bindenden Schlüsse über die Entstehungsart des sandigen Sedimentes zu. Mehr Beachtung verdient die grösstenteils völlige Fossillosigkeit der Ablagerung, die ihm eher für die äolische Entstehung zu sprechen scheint. Deutlichere Anzeichen für die äolische Entstehung sieht KAYSER in den Kantengeschieben, den aufgerollten Tonhäuten, von denen schon eben die Rede war und deren Vorkommen nur gelegentliche lokale Trockenlegung des Sedimentes beweist, aber für die Auffassung der Hauptmasse des Sandsteines nicht entscheidend sein kann. KAYSER betont dann, dass die Rotfärbung des Sedimentes von WALTHER ebenfalls in einigen Wüsten Zentralarabiens, in Südafrika und Australien beschrieben worden ist, die ursprünglich als dünne Rinde von Eisenoxyd unter starker Erhitzung und unter Mitwirkung von in Alkalien gelösten Eisensalzen nur in der Luft entstehen kann. Bei Anwesenheit von Feuchtigkeit sollen diese Rinden nur als Hydroxyd oder im Beisein von Humusstoffen als Oxydulverbindungen niedergeschlagen werden können. Bereits BLANCKENHORN und LINCK¹⁾ haben aber auf die Unhaltbarkeit dieser Beobachtungen von WALTHER hingewiesen. Nirgends entstehen rote Verwitterungsrinden auf diese Weise. Überall ist gerade Feuchtigkeit, wie der Tau an der Bildung dieser Rinden beteiligt. Diese Schutzrinde ist auch nie karminrot sondern rotbraun bis schwarz und besteht gar nicht aus Eisenoxyd, sondern aus „wechselnden Mengen von Mangan-superoxyd und Eisenhydroxyd und daneben noch manchmal einem schwachen Gehalt an Kieselsäure, Tonerde und Phosphorsäure“. Auch tritt diese Rinde nur oberflächlich auf. Grössere Mengen mit Rinde versehenen Wüstensandes, ganze Dünenzüge, die sie auch im Innern enthalten, können gar nicht entstehen und sind gar nicht nachgewiesen. Ein dahingehender Vergleich der Färbung des Buntsandsteins mit der Krustenrinde ist also unzulässig. Auch KAYSER wird in der Anwendung des WALTHER'schen Argumentes stutzig, wenn er registriert: freilich bleibt dabei auffallend, dass rote Wüstensande immerhin eine seltene Erscheinung sind, während für gewöhnlich solche in gelber Farbe vorherrschen oder allein vorhanden sind.

Auch KAYSER ist der Ansicht, dass die petrographisch und in der Mächtigkeit ausserordentlich gleichartige Gliederung des unteren und mittleren Buntsandsteins in Südwestdeutschland sich mit ihrer Deutung als Wüstenbildung allerdings nicht verträgt, betont aber, dass in Hessen im Gegensatz hierzu im allgemeinen ein rascher Wechsel

¹⁾ Über die dunklen Rinden der Gesteine der Wüste. Mitt. a. d. Grossh. Mineralog. Institut. Jena. Jenaische Zeitschr. f. Naturw. 35. 1900.

der Mächtigkeit wie auch der Ausbildungsweise der Sandsteinschichten wahrzunehmen sei derart, dass oft schon in einem Steinbruch ein mächtiges Paket von Schiefertönen oder auch dicke Sandsteinbänke sich völlig auskeilen. Auch die Transgressionserscheinungen in den einzelnen Stufen des Buntsandsteins und seiner Grenze gegen die Dyas kann nach KAYSER auf das Wandern und Sichverschieben der Dünen zurückgeführt werden. Die sehr sichere Gliederung, welche der mittlere Buntsandstein südlich der Mainlinie im Gegensatz zu Hessen und Hannover und der Provinz Sachsen zeigt, würde KAYSER also veranlassen, im Süden eine Ablagerung im Wasser und in Mitteldeutschland zur selben Zeit eine äolische Bildung anzunehmen; gerade das würde aber im auffallendsten Gegensatz zu den sich aus anderen Gründen ergebenden Schlüssen stehen, dass der Buntsandstein im Süden gerade am Küstenrand des vindelizischen Gebirges und in Mitteldeutschland diesem und damit auch dem Ursprungsgebiet des Sandes entfernter gebildet wurde.

Die Verteidigung, welche KAYSER hierdurch der äolischen Bildung des Buntsandsteins widmet, ist aber heute eigentlich noch die einzige Stütze der Anhänger der äolischen Entstehung; Tatsachen, die nicht auch eine aquare Bildung erlaubten, sind heute kaum noch bekannt, ebensowenig wie Argumente gegen die aquare Bildung vorliegen. Für die aquare Bildung sprechen aber:

1. Die Ausbildung ähnlicher fossiler Sandsteinsfolgen von sicher aquarer Bildung (mediterraner Buntsandstein, Werfener Schichten, Nubischer Sandstein, Postdam sandstone).

2. Die Geröllmassen der konglomeratischen Bildungen können nach übereinstimmendem Urteil weder als Steinwüsten noch als Flussablagerungen aufgefasst werden, sondern müssen wegen ihrer küstennahen und flächenförmigen Ausbildung als ein durch die Küstenbrandung aufgearbeitetes Sediment angesehen werden.

3. Die ganz vorwiegenden Quarzteile der Sandsteine sind nicht auf äolische Selektion zurückzuführen, da mit ihnen oft zugleich Tonmassen abgelagert werden. Diese Selektion ist darauf zurückzuführen, dass die Bestandteile nicht direkt aus dem Anstehenden kamen, sondern im Oberkarbon, im Rotliegenden und dann auch gelegentlich der Zechsteintransgression auf den Festlandsrändern (Rheinische Masse, Ardennen, vindelizische Gebirge im Süden) wiederholt verlagert worden sind, so dass nur das härteste Gestein nachblieb.

4. Die ganz wirre Kreuzschichtung ist vielmehr submarinen und litoralen Sandbänken als Dünen eigen.

5. Die Fossilien des Buntsandsteins verlangen wenigstens zeitweise, fast allgemeine und häufige (in der Provinz Sachsen wenigstens fünfmal wiederholte) Wassereindeckung.

6. Gerade dort aber, wo diese Fossilbänke fehlen, in Südwestdeutschland, spricht das ganz ausserordentlich weite, regelmässige

Anhalten aller Schichtstufen auch des mittleren Buntsandsteins über weite Gebiete noch entschiedener für die aquare Bildung.

7. Gelegentliche Trockenlegung an nachweisbaren Rändern von Festländern, von Untiefen, Inseln markieren sich dabei deutlich in Form von Trockenrissen, Tondüten, Dreikantern, Cheirotherienfährten, die sonst in dem Hauptverbreitungsgebiet fehlen.

Als eine besondere Fazies des unteren Buntsandsteins haben vor allem die sogen. Rogensteine, d. h. oolithische Buntsandsteinbänke des zwischen dem Harz und Thüringen gelegenen weiten Gebietes, und sodann sogen. Stromatolithe neuerdings Beachtung gefunden. E. KALKOWSKY hat ihnen eine ausführliche Arbeit gewidmet; G. LINCK hat bereits früher diese Gebilde untersucht und neuerdings eine von der Ansicht KALKOWSKY's abweichende Anschauung vertreten. Schliesslich hat H. FISCHER experimentelle Studien über diese Bildungen gemacht.

KALKOWSKY erkannte im Einzelkorn der Oolithe, dem „Ooid“, verschiedene Strukturen, oft mehrere gleichzeitig, von innen nach aussen ineinander übergehend: die Lagenstruktur, die feine radiale Struktur, die Spindelstruktur und die Kegelstruktur. Als Kern des Ooids finden sich öfter kleine Tonklümpchen oder Kalkspatkriställchen. Teils sind die Ooide regelmässig miteinander verwachsen (Dispulsionsstruktur), teils ineinander greifend (Impulsionsstruktur). Eine Gruppe von Ooiden kann wieder von einer neuen Rinde überzogen sein. Die Strukturen der Ooide sind dabei ausserordentlich fein und erstaunlich regelmässig, wie es die schönen Abbildungen bei KALKOWSKY sehr deutlich zeigen. KALKOWSKY tritt für die organische Bildung der Ooiden ein, die Vergesellschaftung von kleinen und grossen Ooiden, ihre Umhüllung durch spätere Strukturen, ihr komplizierter Aufbau sind ihm als anorganische Ausscheidung undenkbar; auch die Bildung des in den Oolithen enthaltenen Kalkspatskelettes spricht für die organische Entstehung, dabei denkt KALKOWSKY vor allem an die Kalkausscheidung durch bestimmte Bakterien. Die Stromatolithen bilden grössere zusammenhängende Stöcke von unregelmässig verdickten, welligen Kalklamellen, die einander umhüllen. Die Stöcke ragen ähnlich wie ein Riff in die umgebenden, feinkörnigen Oolithe hinein. Ihre Einzelindividuen, die Stromatoiden, sind aus dünnen Lagen aufgebaut, die oft von Oolith umgeben sind, auch sie sollen phylogener Natur sein. Diesen Anschauungen KALKOWSKY's tritt nun LINCK mit aller Schärfe entgegen und vertritt wohl überzeugend die entgegengesetzte Meinung, dass sowohl die Oolithe als auch die Stromatolithe anorganogene Bildungen seien. LINCK erinnert an das auch einstens für organogene Gebilde angesehene Eozoon, an die Chondren der Meteoriten und begründet seine Anschauung mit der Feststellung der grossen Ähnlichkeit der Buntsandsteingebilde mit den Karlsbader Sprudelsteinen und Sinterbildungen. LINCK gelingt es, fast alle Erscheinungsformen der Ooide des Buntsandsteins sowie der Stromatolithen in den Karlsbader Rogensteinbildungen

wiederzuerkennen. Er macht auch darauf aufmerksam, dass derartige Bildungen sogar im Laboratorium experimentell erzeugt werden können. Die Beweisführung KALKOWSKY's für eine organische Natur ist deshalb als nicht zwingend zu bezeichnen. Im übrigen ist LINCK weit davon entfernt, für die Buntsandsteingebilde ähnliche Bildungsvorgänge anzunehmen als wie sie im Karlsbader Sprudel herrschen; er möchte die Oolithe in Anlehnung an die Ansicht GAUB's bezüglich jurassischer Oolithe als Konkretionen ansehen, d. h. als Umkrustungen kleiner Fremdkörper durch Ausscheidung von CaCO_3 aus dem Meerwasser des Buntsandsteins unter gleichzeitiger Rollung auf schlammigem Meeresboden.

Auf die Ähnlichkeit der Buntsandsteingebilde mit sicher anorganischen Bildungen, wie Ooiden aus Magnesiumkarbonat im Laboratorium, Aragonitoiden aus Basaltwacke, etc. hat schliesslich noch H. FISCHER, der damit ebenfalls für die anorganische Bildung eintritt, hingewiesen.

Natürlich liefern aber die Oolithe wie auch die Stromatolithe des Buntsandsteins, seien sie nun organogen oder anorganisch, wiederum Beweise für die marine Bildung des Buntsandsteins. Die ältere Ansicht von FRAAS, welche oben noch angeführt wurde, dass diese Gebilde Residuen des Zechstein darstellen könnten, ist heute überhaupt nicht mehr diskutabel.

Die Entstehung des Muschelkalkes. Dass die Sedimente des Muschelkalkes in einem Binnenmeer von geringer Tiefe, welches wegen seiner verarmten, wenn auch an Individuen so ungeheuer reichen Fauna mit den offenen Triasozeanen in nicht offenem Zusammenhang gestanden hat, niedergeschlagen wurden, wird heute allgemein angenommen. Das Muschelkalkmeer muss den Charakter einer tropischen Lagune besessen haben, in welcher jedenfalls allermeist mehr Wasser durch Verdunstung abgegeben als durch die in sie einmündenden Ströme zugeführt wurde; das Muschelkalkmeerwasser dürfte meist eher höheren als geringeren Salzgehalt als der offene Ozean besessen haben. Die Ausbildung der in Süddeutschland und auch in Norddeutschland in erheblicher Mächtigkeit erhaltenen Salzlager des mittleren Muschelkalkes wird als die extremste Äusserung dieses im unteren und oberen Muschelkalk in geringerem Masse zum Ausdruck gekommenen, hohen Salzgehaltes anzusehen sein.

Wie OTTO M. REIS neuerdings (1910) zutreffend ausführt, dürfte es aber verfehlt sein, den Muschelkalk als eng litoral anzusehen, die sehr gleichmässige petrographische Ausbildung über das gesamte Gebiet seines Vorkommens spricht natürlich dagegen. Trotzdem lassen seine Eigenschaften nicht die Annahme seiner Bildung in erheblicher Tiefe zu. OTTO M. REIS ist der Ansicht, dass es sich um eine Bildung in Tiefen von 400—500 m handelt, wie sie in tieferen Schelfgebieten oder in den kleineren Mittelmeeren zur Jetztzeit nach O. KRÜMMEL vorhanden sind. Da sich der gleiche Muschel-

kalk aber auch transgredierend unter Ausfall des Buntsandsteins auf älteren Gesteinsklippen, wie auf der Devonklippe von Sierck in Lothringen abgelagert hat, so dürfte damit auch die gelegentliche Bildung des Muschelkalksedimentes in sehr geringer Tiefe bewiesen sein. Das wesentliche Moment bei der Bildung des Muschelkalksedimentes ist gegenüber dem Buntsandstein und Keupersediment nicht die grössere Tiefe der Entstehung, sondern das Überwiegen organogener Gesteinskomponenten gegenüber klastischen. Eine solche Bildung könnte an und für sich ja durch plötzlichen, sehr starken Absatz organogener Kalksedimente bei unvermindertem klastischen Niederschlag zustandekommen. Das ist aber offenbar nicht der Fall gewesen. Das Überwiegen sehr feinkörnigen, mechanisch herbeigeführten Materiales, vor allem von Ton, welches den organogenen Komponenten des Muschelkalkes vorwiegend allein beimengt ist, der Übergang gröberen Sandsedimentes vom mittleren Buntsandstein in feine Sande und Tone im oberen Buntsandstein und das dann auch in den Tonen des mittleren Muschelkalkes wieder hervortretende, feinkörnige Material zeigt bestimmt eine Änderung der klastischen Komponenten des Sedimentes seit der Buntsandsteinzeit an. Da diese Änderung in ganz ähnlicher Weise auch in der ozeanischen (mediterranen) Triasprovinz gleichzeitig auftritt, so muss der Umschwung in der Sedimentbildung an der Buntsandstein-Muschelkalkgrenze mit ganz bestimmten Änderungen der Verhältnisse auf den die europäischen Triasmeere umrandenden Festländern zurückgeführt werden. Man könnte an eine plötzliche Senkung dieser Festländer sowie der Triasmeere am Ende des Buntsandsteins denken; es würden dann die zur Buntsandsteinzeit den groben Sand liefernden Gebiete — wohl Küstenebenen — zur Muschelkalkzeit unter Wasserbedeckung gestanden haben und dann höher gelegene Kontinentalgebiete, welche von grobem Detritus bereits befreit waren, als Ursprungsgebiet des feinen Muschelkalkmateriales anzusehen sein¹⁾. Diese Annahme würde mit der transgredierenden Lagerung des Muschelkalkes über von Buntsandstein nur unvollständig sedimentierten Gebieten, wie am Nordende der bayerisch-schweizerischen Hochebene gut harmonisieren. Auffallen muss ferner die starke Zunahme von Pflanzeneinschlüssen im oberen Buntsandstein und das Vorkommen von Pflanzenresten im unteren Muschelkalk am Harzrand. Es ergibt sich aus diesen Funden wohl mit Sicherheit, dass die das jüngste Buntsandsteinmeer und das Muschelkalkmeer umrandenden Gebiete mit mehr Ton liefernden Böden von einer dichten Vegetation bedeckt gewesen sind, in welchen Calamariaceen, z. T. vielleicht noch Sigillarien und Pleuromoiaceen

¹⁾ Das Bild, welches JOH. WALTHER von jungpaläozoischen und triadischen Kontinenten entwirft, auf denen „von karminroten Schuttdecken hoch hinauf umkleidet, kühne Felsengebirge in den blauen Himmel ragen“, dürfte den lange Zeit damals tätig gewesen Erosions- und Deflationskräften zu wenig Rechnung tragen.

sowie Farne zahlreich hervortreten. Sand liefernde Gebiete bestanden dabei westlich des mittleren Rheintales, in der Pfalz, in Elsass-Lothringen und im angrenzenden Frankreich noch zur Zeit des untersten Muschelkalkes in der Küstenzone, als sie anderswo schon fehlten. Im Gegensatz zum nördlichen oberen Muschelkalk ist dagegen der süddeutsche tonärmer, kalkiger entwickelt, er enthält nach der Keupergrenze zu im Südwesten die sogen. „dolomitische Region“ und in Franken das „Trigonodusriff“. Auch in den Trochitenschichten kommt dieser Gegensatz sehr zur Geltung. O. M. REIS vergleicht diese süddeutschen Riffbildungen mit gutem Recht mit der Bildung des nordalpinen Wettersteinkalkes. Auch der Referent hat die rein dolomitische Ausbildung des obersten Muschelkalkes Süddeutschlands als einen Anklang an die ozeanische Fazies der Mittelmeerländer aufgefasst, welcher durch die in den heutigen Westalpen zur oberen Muschelkalkzeit eintretende Verbindung des Binnenmeeres mit dem mediterranen Ozean — worauf später zu besprechende andere Erscheinungen ebenfalls hinweisen — zur Ausbildung kam. O. M. REIS nimmt im südlichen Teil des Binnenmeeres eine von Norden nach Süden gerichtete Grundströmung an, unter deren Einfluss hier mächtige Anhäufungen von Muschelschalen (*Trigonodus*) ohne sonstige Detritusbeteiligung gebildet wurden und Schalenriffe gleich Strassenwällen zur Bildung kamen. Im mittleren Muschelkalk, seit der Bildung der „Anhydritgruppe“, wird die Verdunstung des Binnenmeeres eine viel stärkere als die Wasserzufuhr; die z. T. sehr mächtigen Tone zeigen, dass die Zufuhr von Kontinentalwässern aber noch erheblich blieb, dass die stärker werdende salinare Beschaffenheit des Meerwassers, die bei gleichzeitigem Absatz von Salzlagern ebenfalls nur durch weiteres Zuströmen von Meerwasser aus dem ozeanischen Gebiete möglich war, durch stärkere Verdunstung hervorgerufen wurde. Es fand dabei nur in den tieferen Gebieten des Muschelkalkmeeres Salzabsatz statt, ohne dass nur entfernt an eine Verdampfung des Meeres bis zur Trockenlegung gedacht werden darf. Es ist in neuerer Zeit wiederholt darauf hingewiesen worden, dass der Salzabsatz in der Tiefe von Meeresteilen oder von Salzseen dadurch lange vor Erreichung des Sättigungszustandes des gesamten Wassers erfolgt, dass schwere und nahezu gesättigte Lösungen sich in der Tiefe ansammeln und den Temperatenausgleich sowie den Lösungsausgleich dadurch verhüten, dass sie die normalerweise vorhandenen vertikalen Wasserströmungen durch ihre Eigenschwere ganz aufheben¹⁾. Unter diesen Verhältnissen verschwand die Muschelkalkfauna im zentralen Gebiete des Muschelkalkmeeres nahezu vollständig; die Kalkbildungen hören hier auf. Ob wir gezwungen sind, für diese Periode mit REIS eine Verflachung des Meeres anzunehmen, erscheint sehr zweifelhaft; die Annahme von JOH. WALTHER, dass „mehr kontinen-

¹⁾ M. ROZSA, Neuere Daten zur Kenntnis der warmen Salzseen. Berlin 1911.

tale Bedingungen“ auf dem Meeresteil eintreten, führt zu falschen Vorstellungen. Dadurch, dass im westmediterranen Gebiet kein Hiatus zwischen unterem und oberem Muschelkalk zu konstatieren ist, ohne dass es hier zur Bildung von Salzen kam, dass z. T. nur Tone ohne Salze (Sardinien) abgelagert wurden, spricht deutlich gegen die Ansicht von REIS, dass das Meer „zusammenschrumpfte“ und „ein grosser mariner Kessel von aussen nach der Mitte zu und allmählich in die Tiefe“ verdampfte, wie sich REIS (aber nicht im Anklang an FRAAS wie er meint) ausdrückt. Die Anschauung JOH. WALTHER's von einer Salzpfannenzeit des mittleren Muschelkalkes will dieselbe Vorstellung treffen; sie widerspricht aber ebenfalls den Beobachtungen im westmediterranen Gebiet. Diese Verhältnisse des mittleren Muschelkalkes erscheinen durchaus als eine Rekurrenz der gleichen zur jüngsten Zechsteinzeit in unserem Gebiet eingetretenen Verhältnisse, auf die hier nicht eingegangen werden kann. Von Wüstenbildungen, auch im weiteren Sinne JOH. WALTHER's, dürfte in beiden Fällen wohl abgesehen werden müssen. Auf die reiche Vegetation der Muschelkalkfestländer wurde schon hingewiesen.

Eine sehr ausführliche, allerdings schwer verständlich geschriebene Betrachtung der Gesteins- und Schichtgestaltungen und ihren Ursprung hat O. M. REIS (1910) im Anschluss an Untersuchungen fränkischer Muschelkalkprofile geliefert. Er glaubt in der Art der Ausbildung der einzelnen Bänke des oberen und auch des unteren Muschelkalkes deutlich die Wirkungen von Grundströmungen, von Vertikalströmungen im Meerwasser, sowie Bewegungen des bereits abgelagerten Sedimentes durch submarine Rutschungen an Böschungsflächen des Muschelkalkmeerbodens wieder erkennen zu können. Ein grosser Teil der nicht weithin durchgehenden Bänke und linsenförmig auftretenden Sedimente zeigt ein feinkörniges, toniges Liegende ohne Fossilien, ein fossilreiches Mittlere und ein mehr toniges Hangende. Der obere und untere Abschluss dieses Ablagerungszyklus zeigt dadurch die Wirkung einer schwach beginnenden, bezw. schwach ausklingenden Strömung, das Mittlere durch die groben Schalenfragmente eine stärkere Strömung an. Die zahlreichen Bänke unseres Muschelkalkes, welche die von REIS tubikolen Anneliden zugeschriebenen Bohrröhren enthalten, sollen auf Sedimente zurückzuführen sein, welche längere Zeit bloss lagen, ohne neue Sedimentation zu empfangen. Während dieser Blosslegung bildeten sich dann die sog. Grenzockerbildungen. Die Wurmröhren treten daher meist in sonst fossilarmen, mehr tonigen Bänken auf. Ähnliches soll von den ebenfalls auf Tubikolen zurückzuführenden Rhizokorallien gelten. Die ausserordentlich häufige Wiederholung dieses zu beobachtenden Zyklus setzt keineswegs eigentliche konstante Strömungen, sondern vielfache, nur stossweise sich wiederholende Grundströmungen voraus. Diese Strömungen kommen allerdings am deutlichsten in der vielfach deutlichen Diagonalschichtung der Bänke

zum Ausdruck. Vertikale Strömungen sind durch Aufwirbelungserscheinungen in bestimmten feinkörnigen Bänken zu erkennen.

Bewegungen des bereits abgelagerten Sedimentes ist auch als Abrutsch an Böschungsebenen zu erkennen. Böschungswinkel von unter 10° genügen bereits subaquar zum Eintritt von Sedimentverrutschungen. REIS führt wegen der Allgemeinheit der Erscheinung über grosse Flächen allerdings nicht genügend beweiskräftig die Faltung der Wellenkalkschichten auf Böschungsfaltung zurück. Bei mangelnder Leichtflüssigkeit des Materials bildeten sich aber auch Längsrisse, gzerzte Gesteinslinsen etc. Schon halb verhärtete Schichtplatten zerrissen zu den höchst charakteristischen „Geschiebewellenmergelplatten“.

Die Wellung der Wellenkalkbänke will REIS nicht als Wellenfurchen ansehen, sondern in ihr eine „ausgleichende Faltungsbe-
wegung“ erblicken, welche „hauptsächlich als seitlich (!?) gerichtete Rutschungen in noch plastischem Zustande der Platten an stärkeren Böschungen diagonaler Schichtung unter Hinzutreten von Wasserdruckvermehrungen (!?) auftreten“. Die ganz allgemeine Verbreitung der Wellenkalkstruktur dürfte aber schwer auf solche wohl nur gelegentlich denkbare Vorgänge zurückgeführt werden können.

Das Verbreitungsgebiet unseres Muschelkalkes ist heute bis weit in das westmediterrane Gebiet hinein bekannt. A. TORNQVIST konnte Muschelkalk mit allen Charakteren des deutschen Vorkommens und einer Gliederung in unteren, mittleren und oberen Muschelkalk an der Westküste Sardinien feststellen; später hat er auf der Baleareninsel Menorka ebenfalls eine sehr ähnliche Ausbildung angetroffen. A. WURM hat dann die Trias in Aragonien näher untersucht und auch hier Muschelkalkbildungen weithin verfolgt. Auf die stratigraphischen Ergebnisse dieser Arbeiten soll hier nicht eingegangen werden, sondern nur auf ihre Bedeutung für die Umgrenzung des Muschelkalkbinnenmeeres. Es unterliegt heute keinem Zweifel mehr, dass sich unser deutsches Triasmeer von Süddeutschland aus weithin über Südfrankreich, Sardinien bis mindestens nach Südspanien erstreckt hat und sehr wahrscheinlich (nach den Aufnahmen von GENTIL) noch in die marokkanischen Gebirgszüge hinein zu verfolgen sein wird. Während hier die Begrenzung nach Westen nicht allzu fern gelegen hat, wie die Abnahme der Mächtigkeit des Profils von Osten nach Westen nach Spanien hinein beweist, lässt sich die Begrenzung dieses Teiles des Muschelkalkmeeres nach Osten recht scharf in dem Verlauf des Korsika und Ostsardinien durchziehenden Granitzuges erkennen, auf dessen Gegenflanke bereits oceanische Trias auftritt. Dieser Granitzug muss demnach zur Triaszeit ebenso wie der im Untergrund der schweizerisch-bayerischen Hochebene befindliche, als eine hochgelegene (wohl zur Karbonzeit entstandene) Landbarre den nach Osten gerichteten Küstenrand des Binnenmeeres gebildet haben. So entsteht nun die Frage, von wo aus die Be-

siedelung des Muschelkalkmeeres erfolgt ist oder wo eine Kommunikation des Muschelkalkbinnenmeeres mit den triadischen Ozeanen bestand. Weit im Osten wird man eine solche Meerespforte nicht suchen dürfen, denn östlich der Weichsel ist die Trias nicht mehr entwickelt und auch wohl nicht marin zur Ablagerung gelangt, dagegen bestand wohl sicher, wie FRECH es verschiedentlich zum Ausdruck gebracht hat, eine Meeresverbindung zwischen Schlesien und Ungarn. Hierfür spricht die Fossilführung des schlesischen Muschelkalkes — schliesslich auch das Vorkommen der Ptychiten in der Provinz Sachsen — ebenso sehr wie das Vorkommen nodoser Ceratiten in dem der ungarischen Trias sehr ähnlichen Triasprofil der Vicentinischen Alpen. Andererseits zeigt der westmediterrane Muschelkalk von Menorka und von Katalonien durch die gelegentliche Einschaltung von Linsen mit der Fauna des ozeanischen *Nodosus-Reitzi*-Horizontes, dass er wenigstens zur Zeit des oberen Muschelkalkes eine recht ausgiebige Verbindung mit dem Ozean besessen hat, welche unmöglich über Schlesien und Ungarn geführt haben kann, sondern vermutlich in den heutigen Westalpen südlich Grenoble bestand. Auf diese Verbindung habe ich auch die mächtige dolomitische Ausbildung des obersten Muschelkalkes bzw. der Muschelkalkkeuper-Grenze in diesen westmediterranen Gebieten bis nach Lothringen und ins Elsass hinein zurückgeführt, welche in einer späteren Zusammenfassung über die Stratigraphie noch näher zu besprechen ist.

Die Entstehung des Keupers. Die Keupersedimente sind längst als teils marine, teils brakische und lakustre Sedimente erkannt worden. Die Lettenkohle lässt die Zufuhr grösserer Mengen von Süsswasser vom Festlande deutlich erkennen, die Dolomite sind marin. Der Grenzdolomit zwischen unterem und mittlerem Keuper mit seiner Muschelkalkfauna in Südwestdeutschland zeigt die kurze Wiederkehr von dem Muschelkalkmeer ähnlichen Verhältnissen an, während der Hauptdolomit eine allerdings sehr kärgliche aber doch hinreichend sicher das vorübergehende Eindringen der ozeanischen Verhältnisse in das Gebiet der Binnenmeertrias beweisende Fauna enthält. Gips- und Salzstöcke sind ebenfalls als untergeordnete Rekurrenz der im mittleren Muschelkalk herrschenden Verhältnisse anzusprechen. Das Hauptproblem der Keupersedimentbildung liegt dagegen zurzeit noch in dem Auftreten mächtiger, roter und buntgefärbter Dolomitmergel, welche im wesentlichen ein klastisches Sediment darstellen. Es ist das Verdienst von PHILIPPI, in der *Lethaea geognostica* für die Entstehung dieser Bildungen auf die heute in tropischen Gebieten weit verbreiteten, roten, lehmigen und lateritischen Verwitterungsböden hingewiesen zu haben, deren Bildung VAGELER neuerdings mit gutem Erfolge auf das Fehlen einer Humusdecke und damit einer sauren Reaktion in tropischen Verwitterungsböden zurückgeführt hat. PHILIPPI fasst demnach die roten Keupermergel als die in das Keuperbecken eingeführten,

lateritischen oder tropisch lehmigen Verwitterungsböden der umrandenden Festländer auf. Hier würde ein regenreiches Klima zur Lettenkohlezeit durch ein sehr trockenes zur Zeit des mittleren Keuper abgelöst worden sein, welches auf den Festländern die Roterden, in der Keupersenke die Salzbildungen hervorgebracht hätte. Allerdings denkt PHILIPPI bei dieser Verfrachtung des Materials wiederum wie beim Buntsandstein an eine subaerische. Dieser Anschauung würden aber bezüglich der Keupersedimente die gleichen Einwände gegenüberstehen, welche bei der obigen Behandlung des Buntsandsteins aufgezählt worden sind.

Der Lösung dieser Frage ebenso wie der Entstehung der übrigen Keupersedimente haben sich nun neuerdings mehrere Forscher unterzogen, vor allem E. ZELLER und G. LANG. E. ZELLER betont (1907), dass die Fauna der Lettenkohle eine Muschelkalkfauna ist, dass diese Fauna, welche wie oben erwähnt, im Grenzdolomit noch einmal in Südwestdeutschland eine reichere Entwicklung findet, im Gipskeuper verarmt und im Schilfsandstein ganz verschwindet, um neuen ozeanischen Einwanderern Platz zu machen. Die Tone und Sandsteine der Lettenkohle sind daher im Umfange des alten Muschelkalkmeeres Absätze eines durch reichlicher herbeifliessendes Flusswasser ausgesüßten Binnensees, in welchen zur Zeit des Grenzdolomites ein kurzer mariner Einbruch und eine marine Faunen-Ingression vermutlich nach Ansicht des Referenten nur durch die oben namhaft gemachte westalpine Pforte eintrat. Über die Genese des mittleren Keupers hat sich R. LANG geäußert. Er tritt zunächst der Ansicht PHILIPPI's und FRAAS', sowie auch WALTHER's entgegen, dass die Dolomite, Mergel und Tone des Mittelkeuper subaerische Bildungen seien, er sieht in ihnen, unserer Auffassung entsprechend zutreffend, die Ablagerungen eines Binnenmeeres. Mit Recht fragt er, wie sonst der Fazieswechsel, die wiederholten Vorstöße der Mergelablagerungen nach Osten und die ausserordentliche, auf weite Strecken hin zu verfolgende Gleichmässigkeit in der Mächtigkeit der einzelnen Horizonte zu erklären seien. Die Bildung des Schilfsandsteins wird nach LANG am ersten verständlich, wenn wir ein Hunderte von Quadratkilometern ausgedehntes Deltanetz von Wasseradern und Sandbänken mit dazwischen liegenden Tümpeln annehmen. Die rote Färbung und Fossilarmut, sowie die Wellenfurchen in den oberen Sandsteinschichten sind wohl einem Emportauchen der Ablagerungen über den Wasserspiegel zuzuschreiben. Die höher gelegenen Kiesel sandsteine zeigen dagegen neben ihrer Bildung als Sandbänke durch ihre Wellenfurchen, Tierfährten, sowie durch die sehr gleichmässige Korngrösse und das Fehlen feinen, kaolinigen Beimittels, dass hier der Wind den Sand zu Stranddünen zusammenlegte. Der Hauptdolomit dürfte dann nach der Auffassung von TORNQVIST wiederum eine Ingression aus dem ozeanischen Gebiet darstellen. Die zwischen diesen Gesteinen gebildeten, in verschiedener

Mächtigkeit eingelagerten Mergel sind die Bildungen einer Flachsee in tropischem Klima.

Die Abhängigkeit der Sandstein- und Mergelfazies von der vindelizischen Landbarre konnte LANG sehr klar an der zunehmenden Mächtigkeit der Sandsteinetagen von Lothringen über Württemberg bis zum Donauabbruch feststellen. Er leitet die Keupersandsteine daher auch von dieser Landbarre ab, während die im grossen Keuperbecken vorherrschenden, einförmigen Mergel diesem von allen Seiten zugeschwemmt worden sind. So würde das Keuperprofil uns mehrere Transgressions- und Regressionsphasen zeigen, welche LANG mit dem Absinken der schwäbisch-fränkischen Scholle in nördlicher Richtung und allgemeinen Hebungen und Senkungen erklären will. Bei diesen Bewegungen kam es dann weit im Südwesten auch zu gelegentlichen Ingressionen des obertriadischen Ozeans, aber nicht etwa, wie LANG will, über die ganze Breite der Landbarre, also von Süddeutschland über das vindelizische Gebirge hinweg nach dem Triasozean, einer Verbindung, nach welcher LANG vergeblich ausspäht, sondern auch nur an den zur Muschelkalkzeit klar erkennbaren Meerespforten. Über die Bedeutung der triadischen Landbarre treffen wir bei LANG überhaupt auf etwas komplizierte, die Literatur nicht genügend berücksichtigende Vorstellungen. Das vindelizische Gebirge bestand nicht nur, wie GÜMBEL meinte, in der oberbayerischen Hochebene, sondern erstreckte sich von dieser aus noch weit südlich, zu ihr gehörte sogar noch das sogenannte Basalgebirge der Nordalpen, über welche die tertiären Deckenschübe aufgeschoben wurden¹⁾. Dass die Binnenmeertrias hier auf dem schweizerischen Basalgebirge noch — wenn auch in sehr geringer Mächtigkeit — abgelagert worden ist, beweisen die Funde PAULCKE's, welchem der Nachweis von Muschelkalkfossilien im schweizerischen Röthidolomit geglückt ist.

¹⁾ Vgl. diese Ztschr. I. S. 1.