

Ueber die Bildungsweise der buntgefärbten klastischen Gesteine der continentalen Trias.

Von Emil Philippi.

Bei der Abfassung der Capitel, welche die continentale Trias behandeln, in FRECH's *Lethaea mesozoica*, hatte ich mich auch mit der Genesis der buntgefärbten, klastischen Gesteine zu beschäftigen, welche in den Continental-Ablagerungen der Triasperiode eine so überaus wichtige Rolle spielen. Ich bin dabei zu Anschauungen gelangt, die in mehreren Punkten von den bisher üblichen abweichen; ich erlaube mir, meine Gesichtspunkte hier kurz zu skizziren. Ein näheres Eingehen auf diese Punkte muss der *Lethaea* und späteren Arbeiten überlassen bleiben.

Die Anschauungen über die Bildung der buntgefärbten Buntsandstein- und Keupergesteine gehen auseinander. Am meisten Verbreitung besitzt aber, wenigstens in Deutschland, die Auffassung, welche den Buntsandstein als Ablagerung eines flachen Binnenmeeres, den Keuper als Sediment ausgedehnter Süßwasser- und Salzseen ansieht. Hingegen ist bereits früher in England die Ansicht verfochten worden, dass der Buntsandstein eine subaerische Fluss-, bzw. Windablagerung sei und neuerdings nimmt E. FRAAS¹ auch für den deutschen Buntsandsteine eine subaerische Entstehung an, bei der der Wind eine Hauptrolle gespielt haben soll. Dagegen sieht dieser Forscher die bunten Keupermergel nach wie vor als limnisch an und räumt nur den Sandsteinbildungen des Keupers eine fluviatile, bzw. aeolische Bildungsweise ein.

Bevor ich näher auf die hier vertretene Auffassung der Buntsandstein- und Keupergesteine eingehe, liegt mir der Nachweis ob, dass der Buntsandstein keine marine Bildung sein kann und dass der Keuper wahrscheinlich ebensowenig limnischer Entstehung ist. In beiden Fällen dient mir die Sedimentablagerung der heutigen Meere und Seen als Ausgangspunkt. Sandige Ablagerungen treten in den heutigen Meeren im allgemeinen nur in den Gebieten der Flachsee auf; sie bilden daher nirgends auf dem Meeresboden grosse zusammenhängende Decken,

¹ E. FRAAS: Die Bildung der germanischen Trias, eine petrogenetische Studie. Jahresh. d. Ver. f. vaterl. Naturk. in Württemberg. 55. 1899. pag. 36.

sondern umgürten in einem meist schmalen Saume die Continente. Eine marine Sandsteindecke, welche zur Triaszeit Gebiete von der Ausdehnung des mittleren und westlichen Europas, des westlichen und östlichen Nordamerikas und ausserdem noch ungeheure Regionen auf der Südhalbkugel bedeckte, erscheint nach unserer Kenntniss der modernen Sedimente undenkbar. Am schärfsten beweisen vielleicht die Conglomerate des Buntsandsteins den nicht-marinen Ursprung dieser Bildung. Grobe Gerölle kann das Meer erfahrungsgemäss nur in der Brandungszone ablagern (von Transport durch Eis hier abgesehen); nun sind aber die Gerölle des Hauptconglomerates im mittleren Buntsandstein gleichzeitig über einen Streifen von mindestens 200 km Breite verstreut worden. Eine Brandungszone von dieser Ausdehnung (vertikal zur Küste) ist völlig ausgeschlossen, während es für fliessendes Wasser nicht schwer ist, Gebiete von ungeheurer Ausdehnung mit Schutt und Kies zu überdecken. In einem seichten Meere, wie es das geforderte Buntsandsteinmeer sein musste, hätte sich eine reiche Molluskenfauna ansiedeln müssen; wenigstens enthalten wirklich marine Sandsteine (Coblenzschichten, Rhätsandstein, Lias- und Kreidesandsteine) erfahrungsgemäss eine reiche Litoralfauna. Statt dessen ist der triadische Buntsandstein (vom Röth abgesehen, der genetisch mit dem Muschelkalk zu verbinden ist) in fast allen Gebieten seiner ungeheuren Ausdehnung frei von marinen Mollusken und enthält nur in einigen Theilen Mitteldeutschlands eine überaus ärmliche Reliktenfauna. Dazu kommt, dass die, sicherlich primäre, lebhafte Färbung des Buntsandsteins den modernen marinen Sanden fehlt und dass manche Buntsandsteinschichten, besonders die conglomeratischen, die durch raschfliessendes Wasser hervorgerufene torrentielle Structur zeigen. Alle diese Factoren scheinen mir ebenso einen marinen wie einen limnischen Ursprung des Buntsandsteins auszuschliessen und nur einen fluviatil-continentalen zuzulassen.

Schwieriger ist dieser Nachweis für den bunten Keuper zu führen, schon deswegen, weil seine Entstehung in dem am besten bekannten Verbreitungsgebiete, dem deutschen, keine einheitliche ist. Die sandigen Schichten des Keupers, in erster Linie Schilf-sandstein¹ werden wohl von den meisten Forschern jetzt übereinstimmend als fluviatil angesehen.

Ebensowenig lassen sich die dolomitischen Mergel, welche eine verarmte Reliktenfauna einschliessen (Corbula-Bank, Lehrberg-Schichten etc.) als etwas anderes auffassen, wie als Absätze aus, wahrscheinlich brackischen, stehenden Gewässern. Für unsere Betrachtung kommen nur die lebhaft gefärbten, oft gyps- und steinsalzführenden Mergel in Frage, welche vielfach die Hauptmasse des

¹ Auch für den Stubensandstein ist mir eine fluviatile Entstehungsweise wahrscheinlicher, als die äolische, für die E. FRAAS eintritt.

bunten Keupers bilden und jedenfalls das für ihn bezeichnende Gestein darstellen. Diese bunten Mergel sind es, welche bisher allgemein als limnisch aufgefasst worden sind, nach meiner Auffassung sich aber wie die Gesteine des Buntsandsteins subaerisch bildeten.

Bei der ungeheuren Verbreitung dieser bunten Keupermergel, welche die des Buntsandsteins noch erheblich übersteigt, hätte man Binnenseen von einer ganz aussergewöhnlichen Ausdehnung anzunehmen. Diese ungeheuren Binnenseen mussten natürlich durch Landbarrieren gegen das offene Meer geschützt sein; allein wir sehen dort, wo die Grenze zwischen germanischer und alpiner Keuperfacies erhalten ist wie in den Westalpen, ein ganz allmähliges Auskeilen der einen Facies in die andere, das eine scharfe Trennung ausschliesst. Was aber hauptsächlich gegen den limnischen Ursprung der bunten Keupergesteine spricht, ist, dass sie keinerlei Aehnlichkeit mit den Absätzen heutiger Binnenseen besitzen. Die Sedimente, welche sich am Grunde der heutigen Süsswasserbecken ablagern, sind entweder hell, gelblich oder grau, oder, wie in der Mehrzahl der Fälle, durch organische Substanz dunkel gefärbt. Bunte Farben scheinen nur ausserordentlich selten aufzutreten, wenigstens ist mir nur ein Fall bekannt, in dem typische Seeablagerungen rothe Färbung zeigten. Als das Rhätmeer gegen Ende der Triaszeit über die Keuperarea vordrang, da lagerte es überall auf den bunten Mergeln typische Strandablagerungen (Bonebed) ab; auch dies scheint zu beweisen, dass das Rhätmeer nicht in Seebecken eindrang, sondern über festes Land transgredirte. Man stösst allenthalben auf unüberwindliche Schwierigkeiten, wenn man in den bunten Keupermergeln Seeablagerungen sieht. Es führt also bereits der Vergleich der buntgefärbten Triassedimente mit modernen Ablagerungen zu dem Schlusse, dass jene sich nicht auf dem Grunde stehender Gewässer bilden konnten, sondern unter anderen Bedingungen zur Ablagerung gelangten.

Es bedarf der Rechtfertigung, wenn ich im folgenden Buntsandstein und Keuper gemeinsam betrachte und für beide die gleiche Entstehungsart zu finden suche. Im Hinblick auf die deutsche Trias erscheint dies Verfahren im ersten Augenblick nicht zulässig, denn abgesehen von der beiden gemeinschaftlichen Buntfärbung unterscheiden sich diese Formationsglieder ziemlich lebhaft, insofern als im Buntsandstein sandige, im Keuper thonige und dolomitische Schichten vorherrschen. Ausserdem sind beide durch die mächtige marine Schichtenreihe des Muschelkalks von einander getrennt. Man muss aber dabei ins Auge fassen, dass die deutsche Triasentwicklung nur einen räumlich beschränkten Specialfall der continentalen Trias darstellt; wo die marine Einlagerung des Muschelkalkes fehlt, wie in Nordwesteuropa, im östlichen und westlichen Nordamerika und auf der Südhalbkugel, gehen die gröberen Sedimente im Liegenden ganz ällmählich in die feineren

im Hangenden über. In allen diesen Gebieten ist eine Trennung von Buntsandstein und Keuper immer eine künstliche, in vielen Fällen aber überhaupt nicht durchzuführen und erscheint die Annahme gerechtfertigt, dass Schichtencomplexe, die einander petrographisch so nahe stehen, auch den gleichen Factoren ihre Entstehung verdanken.

Noch mehr wird man in dieser Anschauung bestärkt, wenn man etwas näher auf die Herkunft des Materials eingeht, welches die Schichten der continentalen Trias aufbaut. Es unterliegt keinem Zweifel, dass die Schichten der continentalen Trias sich in ausgedehnten Tiefebenen oder Becken bildeten, denen das lose Gesteinsmaterial von höher gelegenen, randlichen Theilen zugeführt wurde. Zu Beginn der Triasperiode waren die Becken noch tief, die Randgebirge relativ hoch; die Wasserfluthen, die ihnen entströmten, hatten also noch ein starkes Gefälle und konnten die gröberen Materialien des Buntsandsteins transportiren. Allmählich wurden jedoch die Becken durch Aufschüttung erhöht, die Randgebirge hingegen abgetragen; dadurch verringerte sich das Gefälle zwischen beiden beständig und schliesslich konnten nur noch die feinen thonigen Materialien des Keupers verfrachtet werden.

Die petrographische Beschaffenheit der continentalen Triasmaterialien giebt uns aber gleichzeitig ein Mittel an die Hand, sich über die Beschaffenheit der randlichen Gebirge zu orientiren, welchen sie entstammten. In den buntgefärbten Triassedimenten treten uns die letzten chemischen Verwitterungsprodukte entgegen, in welche Gesteine zersetzt werden können, nämlich Quarz, Thon und Eisenoxyd. Gerölle krystalliner Massengesteine, welche noch in der Dyas die Hauptrolle spielen, sind in der Trias bereits sehr selten, gesteinsbildende Silicate, wie Glimmer, Feldspath etc. sind in frischem oder halbzersetzen Zustande meist an gewisse Schichten der continentalen Trias gebunden, welche sich bereits durch hellere Färbung von den sie umgebenden unterscheiden; jedenfalls sind sie weder constant noch charakteristisch. Die Hauptmasse der continentalen Triasgesteine deutet darauf hin, dass die Gebirge, denen sie entstammen, eine tiefgründige, chemische Zersetzung durchgemacht hatten. Es ist dies nicht gerade verwunderlich, wenn man bedenkt, dass diese Gebirge bereits im Carbon, spätestens in der älteren Dyas aufgerichtet wurden.

RUSSELL hat uns in den südlichen Alleghanies ein derartiges, tiefzersetzes Gebirge kennen gelehrt, dessen Zersetzungprodukte durchaus die gleichen sind, wie die hauptsächlichsten Gesteinsbildner der continentalen Trias: Quarz und rother Thon. Dabei ist es von höchstem Interesse, dass alle Gesteine der Alleghanies, auch die kalkigen, in diese beiden Verwitterungsprodukte zerfallen und nur das quantitative Verhältniss beider wechselt. RUSSELL hat gezeigt, dass ein feuchtes und warmes Klima nöthig ist, um diese chemische Zersetzung der Gesteine hervorzurufen, dass sich aber

unter ungefähr gleichen klimatischen Verhältnissen diese Zersetzungspprodukte über ungeheure Strecken der Erdoberfläche bilden können. Thatsächlich ist der so verbreitete Laterit der Tropen in den meisten Fällen nichts anderes, als ein eisenreicher Zersetzungsthon, ebenso wie der »Residual clay« der südlichen Alleghanies. Wenn wir also für die continentalen Triassedimente die gleiche Entstehungsweise annehmen, wie für die Zersetzungsthone der Jetztwelt, so erklärt sich mit einem Schlage sowohl ihre ungeheure Verbreitung auf beiden Hemisphären, wie ihre grosse petrographische Uebereinstimmung in allen ihren Verbreitungsbezirken. Wir haben nur nöthig, für alle jene Gebiete, in denen sich jene Zersetzungspprodukte bildeten, ähnliche klimatische Bedingungen zur Voraussetzung zu machen. Dass aber das Klima über weite Strecken sowohl im Mesozoicum wie im Jungpaläozoicum ein sehr gleichmässiges war, deutet bereits die weltweite Verbreitung mancher Faunen und Floren an.

Wenn wir nun auch für die Randgebirge, in denen die klastischen Materialien der Trias durch chemische Zersetzung entstanden, ein feuchtes und warmes Klima annehmen müssen, so deuten alle Beobachtungen darauf hin, dass sich die Becken, in welche diese Materialien gespült und definitiv abgelagert wurden, sich eines trockenen Steppen- und Wüstenklimas erfreuten. Besonders die Ablagerung von Gyps und Steinsalz, an denen der Keuper so reich ist, konnte nur in trockenem Klima vor sich gehen. Allein ein Blick auf eine moderne Regenkarte zeigt, dass eine derartige Vertheilung der Niederschlagsmengen besonders in den tropischen und subtropischen Gegenden vielfach die Regel ist. Die überaus trockene indische Wüste nähert sich dem sehr niederschlagsreichen Himalaya, die westamerikanische der gleichfalls sehr feuchten Sierra Nevada. Ausserdem wechselten wahrscheinlich auch in den Gebieten der continentalen Trias Regen- und Trockenzeit periodisch mit einander, wie in den Tropen, und eine Trockenzeit genügte, um in den Becken die Wasseransammlungen grösstentheils zum Austrocknen und die Salze zum Niederschlag zu bringen.

Wir sehen also wie die Materialien der continentalen Trias in einem feuchtwarmen Klima durch Zersetzung älterer Gesteine entstehen und wie sie im trockenen Klima von Tiefebenen und Becken subaerisch niedergelegt werden. Es fragt sich nur noch, welche Kräfte den Transport dieser Zersetzungspprodukte besorgen. Ich glaube, dass sich daran die beiden grossen bewegenden Kräfte der subaerischen Sedimentation, fliessendes Wasser und Wind, betheiligen, dass aber die Rolle des letzteren eine verhältnissmässig unbedeutende ist. Die hauptsächlichsten äolischen Gebilde der Gegenwart, Dünensande und Löss, fehlen der continentalen Trias. Immerhin könnte man bei den groben Quarzsanden des mittleren Buntsandsteins an Windtransport denken; sicher sind hingegen die conglomeratischen Bänke an der Basis und in den hangendsten

Schichten dieses Horizontes durch fliessendes Wasser abgelagert worden. Ebenso sind alle thonigen Sandsteine als fluviatil zu deuten, denn der Wind erstrebt überall eine Scheidung der schwereren Sandkörner vom seinen Thonstaub und ist nach unserem heutigen Wissen ausserstande, ein derartiges Gemenge von Sand und Thon abzulagern. Den Conglomeraten des Buntsandsteins entsprechen wahrscheinlich sehr niederschlagsreiche Perioden, während welcher auch die gröberen Materialien aus den Randgebirgen in die Ebenen geschwemmt wurden. Noch deutlicher spricht sich ein derartiger Wechsel der meteorologischen Verhältnisse im Keuper aus. Eingelagert in die bunten Keupermergel finden wir sandige Schichten, an deren fluviatiler Entstehung wohl nirgends mehr gezweifelt wird; sie tragen meist nicht mehr die grelle Färbung der Keupermergel, sondern sind weisslich, grünlich-grau, bräunlich etc., viel seltener roth gefärbt. Ausserdem enthalten diese Flusssandsteine in grosser Menge Silicate, welche den bunten Keupermergeln fehlen. Bei dem feinkörnigen Schilfsandstein ist besonders Glimmer häufig, der grobe Stubensandstein enthält vorzugsweise Feldspatkörner, die jedoch nachträglich kaolinitisiert worden sind. Die Einlagerung derartiger Flusssande in den Complex der feinkörnigen Keupermergel scheint mir ein zeitweiliges Anschwellen der Niederschlagsmenge in den Randgebieten anzudeuten. Dadurch wuchs natürlich die Transportfähigkeit der Wasserläufe, es wurde aber auch die Erosion in den Randgebirgen verstärkt, und damit erklärt es sich, dass nicht nur die allerletzten chemischen Zersetzungspprodukte, sondern auch noch unzersetzte Silicate den Triasbecken zugeführt wurden. Im Zusammenhange damit steht eine sehr interessante Beobachtung, welche TÜRRACH an dem eben erwähnten Schilfsandstein des Keupers gemacht hat. Er fand nämlich, dass die Flüsse, welche diese Flusssande transportirten, sich auch noch in den frisch gebildeten Untergrund des Triasbeckens eingegraben haben, so dass der Schilfsandstein, wenigstens theilweise in rinnenförmigen Vertiefungen der nächstälteren Gypsmergel liegt. Ein derartiges Verhalten war natürlich nur möglich, wenn der Boden des Keuperbeckens nicht von stehendem Wasser bedeckt war; also auch hierin ist ein Beweis zu erblicken, dass sich die Keupermergel auf festem Lände und subaerisch ablagerten.

Wir kommen also, um das hier besprochene noch einmal zusammenzufassen, zu dem Schlusse: Die continentale Trias bildete sich in Tiefebenen und Becken aus den Zersetzungspprodukten stark verwitterter Randgebirge; den Transport der losen Materialien besorgte hauptsächlich fliessendes Wasser, seltener Wind; die schliessliche Ablagerung erfolgte subaerisch.

Es sind uns verschiedene Ablagerungen bekannt, welche mit der continentalen Trias verglichen werden können. In erster Linie kommt der Old Red Sandstone des Devons in Frage, dessen Ueher-einstimmung mit den hier besprochenen Schichten sehr auffallend

ist. Er baut sich, wie bereits sein Name sagt, vorwiegend aus bunten sandigen und thonigen Gesteinen auf und enthält keine der im Devonmeere so häufigen Korallen, Echinodermen, Brachiopoden, Gastropoden, Cephalopoden und Trilobiten. Dadurch erscheint sein mariner Ursprung, an dem manche Forscher noch mit Zähigkeit festhalten, ausgeschlossen; ebensowenig berechtigt ist aber die herrschende Ansicht, welche den Old Red als Ablagerung riesiger Binnenseen ansieht. Denn sandige Ablagerungen können sich nur am Rande, nicht aber in der Mitte von Binnenseen ablagern und eine zusammenhängende limnische Sanddecke ist noch viel weniger denkbar als eine marine. Ich glaube, dass das Old Red der Hauptsache nach ebenso als eine fluviatile Beckenausfüllung zu betrachten ist, wie die continentale Trias. Dass die Fischfauna des Old Red ebenso wie die der continentalen Trias sich theilweise in gleichaltrigen marinen Schichten wiederfindet, spricht durchaus nicht gegen diese Auffassung; denn wir sehen heutzutage viele Fische periodisch vom Meere in die Flüsse aufsteigen und umgekehrt.

Von jüngeren Bildungen scheint keine grössere Aehnlichkeit mit der continentalen Trias aufzuweisen, als das Miocän des inneren Spaniens, speciell des Ebro-Beckens; es geht dies so weit, dass es stellenweise schwer ist, beide Formationen von einander zu trennen. Ebenso wie in der continentalen Trias sind die liegenden Schichten gröber und oft conglomeratisch, die hangenden vorwiegend thonig und enthalten Steinsalz und Gyps. Das ganze Schichtensystem ist bunt gefärbt. Man hat auch diese Ablagerungen bis in die neueste Zeit für limnisch angesprochen, PENCK hat aber mit guten Gründen gezeigt, dass es sich lediglich um einen fluviatil-subaerischen Ursprung dieser Schichten handeln kann.

Unter den modernen Ablagerungen dürfen in erster Linie die zum Vergleich heranzuziehen sein, bei denen Laterit auf secundärer Lagerstätte deponirt wird. Bei der grossen Verbreitung der rothgefärbten Verwitterungsthone in der Gegenwart ist anzunehmen, dass sich an sehr vielen Punkten in den Tropen keuperähnliche Continentalgesteine bilden. Es wäre eine interessante und dankbare Aufgabe, zu untersuchen, wie weit das tropische Alluvium, speciell der Lateritgebiete, mit den buntgefärbten Continentalgesteinen der Trias Uebereinstimmung zeigt.
