

tung der Flügel verlaufende Schwielen grenzen ihn gegen die ebenfalls flachen Seitensäume ab, deren äußere Ränder etwas nach innen umgeschlagen erscheinen. Reste einer Duplikatur sind nicht mit Sicherheit zu erkennen.

Die ganze Oberfläche des Hypostomkernes ist mit der für *H. gigas* so bezeichnenden Körnelung bedeckt. An dieser Skulptur, sowie an dem trapezförmigen Umriß des von den Flügeln befreit gedachten Schildes ist das vorliegende Hypostom von den Hypostomen anderer Homalonoten leicht zu unterscheiden. Es trifft somit die von NOVÁK auf Grund seiner umfangreichen Untersuchungen an böhmischen Trilobiten ausgesprochene Ansicht, daß das Hypostom nicht nur generische, sondern auch Artunterschiede deutlich hervortreten lasse⁷⁾, auch für den vorliegenden Fall zu.

Entstehung und Bedeutung roter Kalke der Berchtesgadener Alpen.

Von K. Leuchs und H. Udluft.

Inhalt:	Seite
1. Ein Beitrag zur Kenntnis roter Kalke. Von H. UDLUFT	175
2. Die Beziehungen der roten Kalke zum hellen Triaskalk und ihre Analogien zum Hallstätter Kalk und Liaskalk. Von K. LEUCHS	188

In einigen Veröffentlichungen¹⁾ habe ich (LEUCHS) auf die Notwendigkeit hingewiesen, zur Erklärung des Alpenbaues, und zwar insbesondere desjenigen der nördlichen Kalkalpen, Untersuchungen über die petrographische Beschaffenheit und die Art der Gesteine auszuführen, da es nur auf diesem Wege möglich sein wird, Sicherheit über die Frage nach der Entstehung der Gesteine und nach dem Ausmaß der tektonischen Bewegungen zu erlangen, welche die kalkalpinen Schichtmassen erfahren haben.

Es wurden in den angegebenen Arbeiten bereits einige Beweise für die enge ursprüngliche Verknüpfung scheinbar in verschiedenen Räumen entstandener Gesteinsreihen gebracht und Erklärungsmöglichkeiten für die auf den ersten Blick regellose Einschaltung fremdartiger Bildungen, besonders in den Riffgesteinen der Trias, dargelegt.

Die genauere Untersuchung solcher Erscheinungen und, weitergehend, die

⁷⁾ O. NOVÁK, Studien an Hypostomen böhmischer Trilobiten. — Sitz.-Ber. d. Böhm. Ges. d. Wissenschaften, Jahrg. 1879, S. 483. Prag 1880.

¹⁾ Lithogenetische Untersuchungen in den Kalkalpen. Centralbl. Min. etc. 1925 Abt. B. — Neue Probleme der Alpengeologie. Senckenbergiana 7, 1925. — Über Einflüsse der Triasriffe auf die Lias-Sedimentation in den nördlichen Kalkalpen. Senckenbergiana 7, 1925. — Sedimentationsverhältnisse im Mesozoikum der nördlichen Kalkalpen. Geol. Rundschau 17, 1926.

unter diesen Gesichtspunkten vorzunehmende Bearbeitung der gesamten kalkalpinen Schichtreihe wurde damals als notwendig bezeichnet.

Es sollen nun zunächst als erster Teil einer derartigen Untersuchungsreihe Beobachtungen und Ergebnisse mitgeteilt werden, die ich zusammen mit Herrn Dr. HANS UDLUFT in Frankfurt (jetzt in Berlin) gewonnen habe, wobei UDLUFT über den chemischen Teil der Untersuchungen und die daraus unmittelbar hervorgehenden Folgerungen berichtet.

Der Notgemeinschaft der deutschen Wissenschaft bin ich zu Dank verpflichtet für einen Zuschuß zu diesen Untersuchungen, mit Hilfe dessen es möglich wurde, die notwendigen Analysen, Schliffe u. a. anzufertigen, sowie weitere Aufsammlungen und Geländeaufnahmen auszuführen, über deren Ergebnisse in späteren Arbeiten berichtet werden soll.

1. Ein Beitrag zur Kenntnis roter Kalke

von H. Udluft.

Im folgenden soll von einigen Untersuchungen berichtet werden, die an einer Reihe von bunten Kalken ausgeführt worden sind. Das Material ist von Herrn Prof. LEUCHS in der Gegend um Berchtesgaden gesammelt worden, am Watzmann, Hochkönig, Steinernen Meer, Reitersteingebirge, Hochkalter und ist ladinischen bis rhätischen Alters.

Zur Untersuchung kamen Kalke von roter Farbe in den verschiedensten Abstufungen von rein hellrot über verschiedene graurot-violette Töne bis zu einem violett-karmin. Außerdem wurden Stücke herangezogen, in denen rote Lagen auf gelbe oder auch blaßrosa oder hellgraue folgen. Wegen seines auffallenden Aussehens sei ein Stück erwähnt, in dem grauweiße reine Kalke in eckigen Bruchstücken der verschiedensten Größen von rotem Kalk verbacken werden.

Das Bestreben war zunächst darauf gerichtet, durch eingehende quantitative Analysen Kenntnis vom Zustand der färbenden Substanz zu erhalten. Zu den Analysen wurde das Material derart ausgesucht, daß das grob zerkleinerte Material von vollkommen gleicher Farbe war, besonders auch frei von Kalkgängen; ebenso wurden nur Bröckchen mit vollkommen frischer Bruchfläche genommen. Das so ausgewählte Material wurde zur Analyse fein gepulvert. Von demselben Handstück wurde jeweils auch zum mindesten ein Dünnschliff angefertigt. Anschliffe und Anätzungen boten keinen Vorteil gegenüber den Dünnschliffen.

Als Analysenverfahren wurden die üblichen innegehalten, die etwa bei TREADWELL angegeben sind. Gelöst wurde in verdünnter HCl, der geglühte Rückstand wurde dann mit Na₂CO₃ + K₂CO₃ aufgeschmolzen. Der H₂O-Bestimmung wurde besonderer Wert beigelegt, darüber wird noch zu sprechen sein.

Bestimmt bzw. geprüft wurden immer Ca, Mg, CO₂, Fe + Al in Lösung, H₂O, Rückstand; und im Rückstand SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃. Die Alkalien, von denen sich nur Bruchteile von 0,1% als vorhanden erwiesen, wurden vernachlässigt, ebenso wurde nicht auf andere vielleicht in Spuren vorhandene Elemente geprüft; jedoch sind im Lauf der Analysen niemals Unregelmäßigkeiten vorgekommen, auf Grund deren auf ein Vorhandensein noch eines nicht beachteten Bestandteiles geschlossen werden müßte. P₂O₅ konnte mit einem sehr empfindlichen Reagens in allen Fällen nachgewiesen werden, doch waren diese Mengen so klein, daß ihnen keine Bedeutung zuzumessen war. Sie wären analytisch nicht ohne besondere Maßregeln zu bestimmen gewesen (unter 0,01%). Alles Fe wurde stets als Fe⁺⁺⁺ bestimmt; es ließ sich Fe⁺⁺ nachweisen, doch war das Mengenverhältnis Fe⁺⁺⁺:Fe⁺⁺ derartig, daß die Vernachlässigung gerechtfertigt erschien.

Da der Untersuchung nicht das Bestreben zu Grunde lag, irgendwelche seltenen Beimengungen aufzufinden und zu bestimmen, sondern die Zusammensetzung und das Verhalten der Hauptkomponenten zu erklären, da außerdem irgend eine vielleicht vorhandene Beimengung mit einem verwandten Elemente bestimmt wurde, dürfte kaum ein Vernachlässigungsfehler begangen worden sein. Die folgende Tabelle gibt 16 Analysen:

Tabelle von Analysen

Nummer der Analyse.	1	2	3 *	4	5	6	7
Fundort	Watzmann	Hochkönig	Taghaube	Hochkönig Süds.	Hochalm	Breithorn SteinMeer	Breithorn SteinMeer
Alter	rhätisch	norisch	ladinisch	norisch	norisch	rhätisch	rhätisch
H ₂ O	—	0,03 (969)	—	0,09 0,4	2. 13 7. 33	0,22 4 0	0,7 11,3
CO ₂	38,05	43,07	46,2	33,05	30,75	41,3	40,97
CaO	48,54	54,95	30,49	42,2	39,3	52,7	51,48
MgO	O	O	21,13	O	O	O	O
Fe ₂ O ₃ in Lösung	O	O	O	1,02	O	O	O
Rückstand	11,76 fleischrot	1,05 gelb.	1,77 grau	22,88 tiefdunkelrot	26,9 hellrot	5,28 hellrot	6,6 braunrot
SiO ₂	31,9	nicht best.	nicht best.	3,2	19,4	12,7	7,75
Al ₂ O ₃	56,4	"	"		67,4	50,4	38,6
Fe ₂ O ₃	11,6	"	"		96,14	12,8	36,4
CaO MgO	—	"	"		—	—	—
Al Kal.	—	"	"	—	—	—	—
Bemerkungen	Foraminiferen.	Foraminiferen	—	Foraminiferen.	—	—	Foraminiferen
Farbe	hellgrau rötlich	hellgrau	dunkelgrau	violettrot	zinnober	zinnober	graurot

Die H₂O-Werte links sind auf die Gesamteinwage bezogen, die Werte rechts auf Rückstand + H₂O-Menge. P₂O₅ in fast allen Analysen in geringsten Mengen noch qualitativ nachweisbar.

Zur Tabelle müssen zunächst folgende Bemerkungen gemacht werden. Alle Angaben sind %-Angaben, doch ist zu beachten, daß SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ auf 100% Rückstand berechnet sind; d. h. die etwa 5% Rückstand der Gesamteinwage werden für die weitere Bestimmung als 100% aufgefaßt. Die H₂O-Menge der linken Spalte ist %-Angabe der Gesamteinwage, während die der rechten Spalte so berechnet wurde, daß %-Zahlen für H₂O und Rückstand addiert wurden, gleich 100 gesetzt und dann der Anteil an H₂O in % ausgedrückt. Hinzugefügt sei noch, daß in den meisten Fällen die Rückstandsanalyse mit einer neuen bedeutend vergrößerten Einwage vorgenommen wurde; weil die Rückstandsmenge häufig zur weiteren Untersuchung zu klein war.

Das erste Ergebnis der Analysen ist die Feststellung, daß beim Lösen die gesamte färbende Substanz im Rückstand verbleibt. In Lösung geht nur reines CaCO₃, alles andere bleibt ungelöst. Im gelösten Teil zeigt sich überall, daß die Mengen CaO und CO₂ der Formel und theoretischen Analyse entsprechen. Ein Dolomit ist unter allen Analysen; er hat etwa 1% gelben Rückstand, der einen tonigen Eindruck machte und wegen zu geringer Menge nicht weiter

alpiner triassischer Kalke.

8	9	10	11	12	13	14	15	16
Reitersteinberg	Reitersteinberg	Reitersteinberg	Breithorn SteinMeer	Breithorn SteinMeer	Hochkönig Süds.	Hochkönig Süds.	Hochkönig Wests.	Hochkönig Wests.
norisch	norisch	norisch	rhätisch	rhätisch	norisch	norisch	norisch	norisch
0,1 5,26	0,46 11,1	0,19 3,98	0,23 4,19	0,19 8,3	1,74 7,76	nicht best.	0,33 9,21	0,26 7,97
43,07	42,03	41,6	41,28	43,04	31,09	43,13	43,27	42,37
54,74	53,61	54,7	51,65	54,9	43,49	55,79	54,33	53,86
O	O	O	O	O	—	—	—	—
O	O	O	O	O	—	—	—	—
1,8 gelb	3,7 gelbbraun	4,58 rotbraun	5,26 rotbraun	2,09 rotbraun	20,68 rotbraun	1,02 rotbraun	3,25 rotbraun	3,00 rotbraun
15,2	2,47	3,89	6,86	7,54	7,27	} wie bei Analyse 13	3,83	—
71,0	14,3	10,1	36,8	32,7	64,97		6,77	7,01
13,4	83,11	85,9	56,06	59,45	27,15		89,4	92,9
—	—	—	—	—	—		—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	Foraminiferen	Foraminiferen	Foraminiferen	—	—	} Breccie hellgrau + zinn.	—	—
fleischrot	gelb	zinnober	tief-schmutzigrot	zinnober	hellrot		zinnober	schmutzigdunkelrot

untersucht wurde. Sonst wurde in keinem Fall Mg gefunden, auch eine größere Reihe von Handstücken, die nicht zur Analyse herangezogen wurden, erwies sich als Mg-frei. Mg-Gehalt und färbende rote Substanz scheinen sich auszuschließen.

Die Hauptaufmerksamkeit ist auf den Rückstand und seine Zusammensetzung zu richten. Es ist durchgängig nur SiO_2 , Al_2O_3 und Fe_2O_3 vorhanden, und zwar fällt besonders die geringe Menge SiO_2 auf. Nur in einem Fall werden 31,9% SiO_2 erreicht, und in diesem Fall stammt das Analysenmaterial aus rhätischen Kalken am Watzmann, die einen Übergang zu Kössener Mergeln darstellen, sodaß in diesem Falle der tonige Fe-arme Rückstand im schwach rötlichen Kalk erklärt ist, während in allen anderen Analysen der SiO_2 -Gehalt sehr gering ist und meist Fe_2O_3 allein eine beträchtliche %-Zahl erreicht.

Die Farbe des Rückstandes geht von gelb bis tiefdunkelrot und ist in geglühtem Zustand stets braun bis dunkelrot mit einziger Ausnahme des reinen Kalkes in An. 2 und des Dolomites in An. 3.

Der Zusammensetzung nach variiert der Rückstand zwischen nahezu reinem Eisenoxyd in Nr. 4 und toniger Beschaffenheit mit nur geringem Fe-Gehalt in An. 1, oder 5, und 8, in denen die Tonerde die ausschlaggebende Bedeutung hat. Die Mengenverhältnisse schwanken stark. Es sind Kalke vorhanden mit mehr als 25% unlöslichem Rückstand bis zu solchen, die als reiner Kalk zu bezeichnen sind; es schwanken einmal die Rückstandsmengen und zum andern die Rückstandszusammensetzung. Zwischen 3 Extremen liegen alle Werte, nämlich zwischen reinem Kalk, Ton und Eisenoxyd. Nahezu erreicht wird reiner Kalk, während Ton und Eisenoxyd in weiter Entfernung liegen.

Bemerkenswert ist der H_2O -Gehalt. Sein Maximum wird mit 2,13% der Gesamteinwage erreicht. Das Minimum ist praktisch 0. Alle Stücke haben Jahre lang in Sammlungsschränken gelegen, von Bergfeuchtigkeit kann also keine Rede sein. Beim Trocknen im Trockenschrank bis zur Gewichtskonstanz bei einer Höchsttemperatur von 80° wurde im Maximum ein Gewichtsverlust von 0,036% erzielt, d. h. die Gesteine sind frei von oberflächenhaftendem H_2O . Bei einigen waren direkte H_2O -Bestimmungen durch Austreiben möglich, bei der Mehrzahl waren auf diesem Wege aber keine zuverlässigen Ergebnisse mehr zu erhalten, weil der H_2O -Gehalt zu gering war. Als einzige Möglichkeit einer Bestimmung

ergab sich nach verschiedenen Versuchen ein lange andauerndes Erhitzen im Trockenschrank auf $180\text{--}200^\circ$ bis zum Erzielen der Gewichtskonstanz. Es ergab sich dabei, daß die Farbe der Kalke direkt vom H_2O -Gehalt abhängig ist. Beim gleichen Fundort ist derjenige Kalk am tiefsten rot gefärbt, der den geringsten auf Rückstand + H_2O umgerechneten H_2O -Gehalt hat. Es sei zum Vergleich hingewiesen auf An. 6 und 7, 9 und 10, 11 und 12, 15 und 16. Daß nicht durchgängig einem bestimmten H_2O -Gehalt ein gewisser Farbton entspricht, liegt an dem wechselnden Gehalt von SiO_2 und Al_2O_3 . Es ist natürlich nicht zu ermitteln, wie sich die H_2O -Menge auf SiO_2 , Al_2O_3 und Fe_2O_3 verteilt, sodaß die an das Fe_2O_3 gebundene H_2O -Menge unbestimmt bleibt. — Noch ein anderes Merkmal zeigte deutlich an, daß die Farbe vom H_2O -Gehalt abhängig ist. Beim Bestimmen des H_2O -Gehaltes im Trockenschrank trat an den gepulverten Substanzen im Tiegel ein Farbwechsel bzw. eine allmähliche deutliche Änderung der Farbe ein. Gepulvert waren die meisten mehr oder weniger hellrot gefärbt, die Änderung des Farbtones lief auf einen dunkler roten, ins Violette gehenden Ton hin. Am deutlichsten war dieser Wechsel bei An. 9, dem gelbgefärbten Kalk vom Reitersteinberg. Hier war ein Umschlag von gelb in ein helles Rot zu verzeichnen.

Diese Abhängigkeit der Farbe vom H_2O -Gehalt und der Wechsel mit ansteigender Temperatur könnte Veranlassung zu dem Versuch geben, zu überlegen, welchen Temperaturen diese Kalke nach der Diagenese ausgesetzt waren, wenn eine so geringe Temperaturerhöhung auf $180\text{--}200^\circ$ einen Farbwechsel und eine Angleichung der Farben hervorruft, die im anstehenden Gestein nicht eingetreten ist. Doch dürften zu solchen Betrachtungen die Beobachtungen nicht ausreichen.

Bei der Betrachtung der Dünnschliffe fiel zunächst einmal auf, daß eine ganze Reihe der untersuchten Gesteine Foraminiferen führen. Besonders reich war ein norischer gelber Kalk vom Reitersteinberg. Ein ganz dunkelroter Kalk vom Hochkönig mit 22,8% (= 97% Fe_2O_3 —) Rückstand zeigte, daß in umschlossenen gelben Partien gleichfalls viel Foraminiferen enthalten waren. Doch waren nicht nur in den gelben Kalken Foraminiferen feststellbar.

Ganz allgemein gilt für alle diese gefärbten Kalke: sie sind nur sehr schlecht lichtdurchlässig und optisch schwer auflösbar. Grobe Flocken und feine Körnchen von Fe_2O_3 in allen möglichen

Formen sind mehr oder weniger opak, und ihre Verteilung und Masse lassen bei Schliffen von normaler Dicke nur ein Arbeiten mit ganz starken Lichtquellen zu.

Auch bei starker Vergrößerung waren bei allen Schliffen niemals Mineralteilchen vorhanden, wie sie häufig als akzessorische Bestandteile in Kalken beschrieben werden. Meist ist die Kalkgrundmasse deutlich vom Rückstandsmaterial unterscheidbar, doch sind auch solche Schliffe angefertigt, in denen dies nicht möglich ist (zu An. 1, 5). Diejenigen, die Kalkmasse und Rückstand unterscheiden lassen, sind jedoch die häufigeren. Die Kalkgrundmasse ist meist völlig dicht, sie wird von Schnüren und feinsten Spalten, die von Kalkspat erfüllt sind, durchzogen. Sie umgibt und durchdringt die Rückstandsteilchen, die gelegentlich denselben Anblick gewähren, wie ein Niederschlag von $\text{Fe}(\text{OH})_3$, der frisch gefällt worden ist, und einen typisch kolloidalen Eindruck machen. Sowohl in gelben wie auch in roten Kalken kann der färbende Bestandteil die gleiche Teilchengröße haben, wie die dichte Grundmasse und kann variieren bis zu ganz groben Flocken und Brocken, die wie Einsprenglinge in der umgebenden Masse liegen. Sehr häufig sind sie kugelig oder doch abgerundet. Je größer sie sind, desto leuchtender ist die Farbe, sowohl rot wie auch gelb. Sehr auffallend waren ganz kleine Körnchen, die wie feine Punkte regellos über ganze Schliffe verteilt waren, völlig rund und viel dichter als die Grundmasse und die gröberen Einsprenglinge, fast völlig opak von einem Durchmesser von etwa 0,01 mm. Auch in dem schon mehrfach zitierten Kalk von An. 4 zeigt der Dünnschliff die Anwesenheit von fast völlig opaken Teilchen, hierin aber von viel größerem Durchmesser und größerer Zahl wie die beschriebenen kleinsten Teilchen. Sie liegen in einer roten oder auch gelben flockigen Grundmasse.

Mehrere Schliffe wurden so eingerichtet, daß Schichtgrenzen von rotem mit gelbem oder grauem Kalk beobachtbar wurden. Sehr lehrreich war in dieser Hinsicht ein Handstück vom Reitersteinberg mit einem Übergang von gelb in rot. Im roten Teil war eine dichte schwer auflösbare Grundmasse, in der große, rote, mehr oder weniger runde Klümpchen und Bröckchen eingesprengt sind. Die Grundmasse wird dünner und heller und geht in eine helle reine Kalkgrundmasse über, in der die roten Einsprenglinge noch genau in demselben Maß und Ausbildung vorhanden sind wie im roten Teil. Daran schmiegt sich zunächst dünner und dann dichter

werdend und unter dem Mikroskop unregelmäßig in die graue Grundmasse eingreifend die gelbe Partie, gelbe, dichte Grundmasse mit gelben Einschlüssen. Makroskopisch ist der allmähliche Übergang eine vollkommen scharfe Grenze.

Eine Trümmerbrekzie grauweißen Riffkalks mit rotem Sediment vom Hochkönig-Südseite erwies sich im Schliff aufgebaut aus grob eckig zermahlenden Kalkteilchen von cm-Größe hinab bis zu Bruchteilen von mm, verkittet und umgeben von dem Kalkmaterial, das dicht und rot ist wie in all den anderen Schliffen. Hierbei waren natürlich alle Grenzen von hellem gegen rotes Material vollkommen scharf.

Soviel sei an analytischen und mikroskopischen Beobachtungen aufgezählt. Es soll nun untersucht werden, welche Schlüsse daraus auf die Entstehung der roten Kalke und die Herkunft des Eisens gezogen werden können.

Ist der Fe-Gehalt in den Kalken primär, d. h. ist das Fe mit dem Kalk zur Ablagerung gekommen, ist es sedimentären Ursprungs, oder ist es nach Ablagerung des Kalkes in das fertige Sediment eingedrungen? Diese Frage kann nur so beantwortet werden: Das Fe bzw. der Rückstand ist gleichzeitig mit dem Kalk zur Ablagerung gekommen.

Wäre das nicht der Fall, also das Fe erst später eingedrungen, dann könnten als Zubringer doch wohl nur hydrothermale oder pneumatolytische Agentien in Frage kommen, — daß es Verwitterungslösungen gewesen sein könnten, die Fe in heute noch vollkommen dichte Kalke gebracht haben könnten, nach deren Verfestigung, ist vollkommen unmöglich, — Erscheinungen, die mit vulkanischen Ereignissen im Zusammenhang stehen. In den gesamten Kalkalpen, soweit rote Kalke vorkommen, von Wien bis zum Allgäu, sind aber nirgends Anzeichen vorhanden, die zum Schluß berechtigten, daß irgend ein vulkanischer Fe-Zubringer möglich sei. Aber noch viel wesentlicher ist, daß H_2O -haltiges Fe-Oxyd allgemein kein hydrothermales Produkt ist, Eisenspat nicht vorliegt und eine sekundäre Umwandlung von Eisenspat in Oxyd durch nichts zu beweisen wäre. Jede Umwandlung durch Metamorphose hätte den dichten Kalk auch betroffen und verändert, besonders aber beweist der H_2O -Gehalt und die beobachtete Farbänderung bei der geringen Temperaturerhöhung im Trockenschrank, daß jeder derartige Erklärungsversuch den Boden der Beobachtungen verläßt. Die chemische Zusammensetzung des Rück-

standes aus schwankenden Verhältnissen SiO_2 , Al_2O_3 und Fe_2O_3 kann auf keinem Weg sekundär erklärt werden. Ausgeschlossen ist doch wohl, daß versucht würde, das Fe von dem Al_2O_3 und der SiO_2 abzutrennen und allein auf irgend einem Weg sekundär heranzuführen zu lassen, weil eine Zufuhr von SiO_2 und Al_2O_3 als Gemenge der Oxyde bzw. hydratisierten Oxyde in Absätzen hydrothermaler oder pneumatolytischer Entstehung wiederum eine unbeobachtete Erscheinung wäre. Die mikroskopische Untersuchung beweist für die Oxyde im Rückstand nichtkristallinen Zustand, und alle Produkte hydrothermaler bzw. pneumatolytischer Natur sind häufig Fundgruben der typischen bestausgebildeten Mineralien. Schließlich ist noch die ungeheure Fe-Menge, die in diesen Kalken steckt, ein Hinderungsgrund für die Annahme der Entstehung aus den versuchsweise herangezogenen Quellen. Wie enorm müßte deren Tätigkeit gewesen sein! Und davon sollte kein typischer Rest der mit anderen bekannten hydrothermalen oder pneumatolytischen Lagern vergleichbar wäre, übrig geblieben sein?

Diese angeführten Überlegungen sollen nur das Ziel verfolgen, zu zeigen, daß es unmöglich ist, eine andere Entstehung anzunehmen als primäre Sedimentierung mit dem Kalk. Für den Fe-Gehalt in den „Red beds“ kommt C. W. TOMLINSON²⁾ auf Grund von Analysen und ähnlichen im Sinn eines negativen Beweises liegenden Ausführungen zur Annahme der primären Ablagerung des Fe_2O_3 in den dort beschriebenen Schichten.

Ist aber der Rückstand im Meer abgelagert und dort mit dem Kalk vermischt worden, dann entsteht die Frage, wie kommt das Fe_2O_3 bzw. Al_2O_3 und SiO_2 dahin, woher kommt dieses Material in den entsprechenden Mengen und vor allem: können wir heute entsprechende Sedimente nachweisen?

Das vorliegende triassische Sediment besteht, wie die Analysen zeigen, aus zwei Komponenten, einmal dem im Meer auf eine hier nicht zu erörternde Weise gebildeten Kalk und andermal dem Fe-haltigen Rückstand, der nur vom Festland hineingetragen worden sein kann.

Suess³⁾ spricht von den alpinen roten rhätischen Kalken, und erklärt sie durch Einschwemmung von Roterde in das in Ablagerung begriffene Sediment. Das Meer der Triaszeit ist faziell sicher

²⁾ C. W. TOMLINSON: The Origin of Red Beds. — Journal of Geology 24, 1916, S. 153.

³⁾ Antlitz der Erde II, 1888, S. 332.

stark differenziert gewesen. Riffe haben z. T. über den Meeresspiegel hinausgeragt und an ähnlichen trocken liegenden Riffen in Ozeanien findet Roterdeverwitterung statt. Solcher Lösungsrückstand von Kalk, der nicht unter H_2O gebildet wird, wird dann in das Meer eingeschwemmt und färbt das Kalksediment. Vergleicht man aber die Rückstandsanalysen der Tabelle mit Roterde-Analysen etwa bei FR. TUCAN⁴⁾ oder bei BLANK u. ALTEN⁵⁾, dann sieht man, daß beides nicht identisch ist. TUCAN gibt beträchtliche SiO_2 -Werte an (bis 66%), während seine Fe_2O_3 -Werte 18% nicht überschreiten. Die angegebenen Rückstände sind aber vorwiegend Fe_2O_3 (+ Al_2O_3) und SiO_2 tritt fast völlig in den Hintergrund. Der Rückstand ist also wohl nicht als Roterde aufzufassen. Weiter muß dann noch überlegt werden, welche Mengen von Riffkalken müssen zerstört worden sein, wenn die geringe Rückstandsmenge eines normalen Kalkes, aus der die Roterde entsteht, (ohne das Problem ihrer Entstehung hier berühren zu wollen) die Massen von rotem Rückstand ergeben sollen, die in den beschriebenen Kalken enthalten sind. Zudem kommt noch hinzu, daß sich die Einschaltung gelber Lagen mit der Einschwemmung von Roterde nicht vereinigen läßt.

Wenn das Fe_2O_3 vom Festland in das Meer hineingetragen wird und Roterdeverwitterung von Riffen nicht anzunehmen ist, dann kann das Fe_2O_3 bzw. Fe_2O_3 + Al_2O_3 nur von Flüssen oder dem Wind in das Sedimentationsgebiet hineingetragen werden. Es müssen also rezente Flüsse herangezogen werden, die einen bemerkenswerten Fe-Gehalt mitführen, und in deren Mündungsgebiet heute ein roter Kalkschlick gebildet wird, oder aber Gebiete, in denen der Wind dasselbe Ergebnis herbeiführt.

ANDRÉE gibt in seiner „Geologie des Meeresbodens“ als Gebiete, in denen Rotschlick abgelagert wird, an: einmal die von MURRAY und RENARD auf der Challenger-Expedition festgestellten Randgebiete des südamerikanischen Kontinents, die Mündungsgebiete von Amazonas, Orinoco, usw., dann weiterhin die mittelafrikanische Sockelböschung, die Meeresteile des ostchinesischen Meeres vor Hoang-ho und Jangtsekiang, das Mündungsgebiet des Colorado im Californischen Golf und schließlich als Gebiet dunkelbraunen Kalkschlicks die Sedimente des Roten Meeres.

⁴⁾ Terra rossa, deren Natur und Entstehung. — N. Jahrb. f. Min. Beilageband 1912, S. 401.

⁵⁾ Landwirtsch. Versuchsstat. 1924, S. 42 u. 73.

Die Analysen von MURRAY und RENARD (Rep. 1891, S. 234) geben im Rotschlick einen Kalkgehalt bis zu 61% an, der zum Teil auf Foraminiferen zurückzuführen ist. Analysen des Rückstandes nach Weglösen des Kalkes sind leider nicht gegeben, sodaß die Rückstände nicht verglichen werden können. Da die rote Komponente des Schlicks vom festen Lande stammt, kann angenommen werden, daß ihr %-Gehalt mit der Entfernung vom Lande abnimmt, es werden also vermutlich auch solche Schlicke zu finden sein, in denen der Kalkgehalt weiter steigt und der Rückstand fällt. Ein solcher Schlick ist vielleicht rezent dann nicht mehr rot, kann es aber bei der Diagenese werden.

ANDRÉE gibt (S. 266) eine Analyse eines Kalkschlicks aus dem Roten Meer mit bis 92% CaCO_3 und erwähnt Verhärtungen mit bis zu 21% Fe_2O_3 . Diese Analysen und die in den Tabellen angegebenen sind unbedingt als ähnlich anzusprechen, so daß versucht werden kann, ihre Entstehung zu vergleichen.

Wie wird nun die färbende Komponente in den erwähnten Gebieten in das Meer hineingetragen? Im Roten Meer dürfte wohl als wirksames Transportmittel, das das Material vom Lande herbeibringt, fast ausschließlich der Wind in Frage kommen.

Der Colorado, der aus dem SW der Vereinigten Staaten seinen Weg nimmt, fließt durchweg durch arides Gebiet. Analysen seiner Wässer haben nicht zur Verfügung gestanden, doch darf wohl angenommen werden, daß er das anorganische Material als mechanisch beigemengten Bestandteil mitführt und daß in ihm keine bemerkenswerten Fe-Mengen in kolloidaler Lösung, geschützt durch Humuskolloide, vorliegen.

In beiden Fällen wird der Dehydratationsgrad des Fe_2O_3 auf dem Land erreicht, durch die Erosion wird die Feinheit des Materials herbeigeführt, so wie es in das Ablagerungsgebiet gelangt. War die Farbe des Gesteinsmaterials schon rot, dann muß die färbende Komponente eben auch rot sein.

Wie liegen nun die Verhältnisse im Falle Amazonenstrom, Orinoco usw.?

KATZER⁶⁾ gibt einige Analysen vom Wasser dieser südamerikanischen Flüsse. Er findet einmal eine mechanisch mitgeführte Komponente, die er als aus feinem lehmigem Schlamm und winzigen Mineralteilchen, hauptsächlich Quarz, bestehend bezeichnet. Analysen der „mechanischen Komponente“ gibt er nicht. Zum andern

⁶⁾ Die Geologie des unteren Amazonasgebietes.

führen diese Flüsse viel gelöste organische Bestandteile und gelöste SiO_2 , $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$. Das Fe und Al dürfte in kolloidaler Form als Sol gelöst und wegführbar sein durch Mitwirkung anwesender Humusschutzkolloide, als welche die gelöste organische Substanz aufzufassen ist. Der Gehalt an gelöstem $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$ und SiO_2 schwankt; bei einigen Analysen ist ungefähr beides gleich, bei anderen überwiegt SiO_2 ; in einem Fall (Parana mirim) Fe_2O_3 .

Die mitgeführten gelösten Fe-Mengen sind so groß, daß I. W. GRUNER⁷⁾ sie zur Begründung der Ablagerung einer bedeutenden sedimentären Fe-Erzlagerstätte heranzieht. Die Form, in der das Fe niedergeschlagen wird, spielt bei der Erläuterung der stark metamorphen präkambrischen Lagerstätte keine Rolle. Nicht so in dem vorliegenden Fall. Es tauchen Zweifel auf, ob die rote Komponente im Kalkschlick auf den mechanisch mitgeführten Bestandteil oder auf den Lösungsinhalt zurückzuführen ist.

KATZER schreibt ausdrücklich, die Mischung des Amazonaswassers mit dem Meerwasser im Mündungsgebiet scheint eine Beschleunigung im Niederschlag der Schwebestoffe herbeizuführen. Diese kommen dann wohl zur Färbung des 250 000 qkm großen Rotschlickgebietes nicht in Frage.

Das $\text{Fe}(\text{OH})_3$ -Sol, als das das Fe in Lösung einmal bezeichnet werden soll, wird beim Zusammentreffen mit den Elektrolyten des Meerwassers ausgeflockt. Einige Versuche in dieser Beziehung beschreibt I. W. GRUNER (a. O.). Die Flocken werden außerordentlich fein sein, und können sicher sehr weit ins Meer hinausgetragen werden. Aber wie ist deren Farbe? Die Farbe ist vom H_2O -Gehalt des Kolloidpartikels abhängig und an H_2O dürfte es den so ausgeflockten Teilchen nicht fehlen. Die Ausflockung des Sols der Flußwässer muß also nicht notwendig zu einem roten Sediment führen. ANDRÉE (a. O.) und WETZEL⁸⁾ nennen Rotschlick als Sediment in Gebieten in der Nähe von Festländern, auf denen Rotverwitterung herrscht.

Besteht nun ein Zusammenhang zwischen Lösungsinhalt im Flußwasser und dem roten Sediment, was nach obigem aber nicht direkt der Fall zu sein scheint, dann ist auch nicht nötig, daß auf dem Festland Rotverwitterung vorliegt, denn ein Humus-geschütztes $\text{Fe}(\text{OH})_3$ -Sol kann ja auch aus einem braun verwitternden Gebiet

⁷⁾ Origin of sedimentary ironformation of the Mesabi Range, Ec. Geol. 1922, S. 444 ff.

⁸⁾ Sedimentpetrographie, Fortschr. d. Min., Krist und Petr. 8, 1923, S. 103 ff.

kommen. Vielleicht kann durch den Einfluß des warmen Meerwassers die Farbe des ausgefällten Gels so beschaffen sein, daß der Schlick ein Rotschlick genannt werden kann. Darüber liegen keine Beobachtungen vor, doch wäre es denkbar. Auf alle Fälle muß hier noch eine Lücke geschlossen werden.

Da der Zusammenhang zwischen Rotverwitterung auf dem Festland und Rotschlick aber augenscheinlich auch im nicht ariden (?) Südamerika besteht, müssen die Sinkstoffe im Fluß doch eine Rolle spielen, was gegen die KATZER'sche Ausführung spricht.

Wird jetzt von den einander etwas widersprechenden rezenten Beobachtungen auf die Trias-Kalke geschlossen, dann kann als sicher angenommen werden, daß sie Sedimente vor alten rot verwitternden Festländern sind, und nur die Frage nach dem Transportmittel steht noch offen.

Wind und Flüsse können dafür in Frage kommen, die Flußtrübe wird von größerer Bedeutung sein als der Lösungsinhalt der Flußwässer.

Aus dem Gesteinsschliff zu erkennen, welches Agens für die Beförderung in Frage kommt, ist noch nicht möglich. Dazu müßte die Kenntnis ähnlicher Sedimente weiter fortgeschritten sein. Manche der beschriebenen Erscheinungen in den Schliffen führen in Versuchung, auf Transport durch Wind oder Flußtrübe zu schließen, während die gelben Flocken leicht als Niederschlag aus einem Sol aufgefaßt werden können.

Als Abtragungsgebiet, von dem die rot färbende Komponente der Kalke stammt, wird man wohl das vindelicische Gebiet Süddeutschlands, vielleicht auch das zentralalpine Gebiet annehmen dürfen.

Es wäre vielleicht daran zu denken, aus allen Teilen der Kalkalpen, in denen rote Kalke anstehen, Analysen anzufertigen oder zu sammeln und für jeweils sicher gleichalte Stufen die Analyseergebnisse kartographisch einzutragen. Es wäre dann vielleicht möglich, daß sich aus der Lage entsprechender Rückstandsmengen und deren Zusammensetzung auch eine paläogeographische Folgerung ziehen ließe. Es ist selbstverständlich, daß hier auch bei äußerster Vorsicht nur ein vages Ergebnis erhalten werden kann, doch wäre das ein neuer Weg, auf dem die Chemie der Paläogeographie nützlich sein könnte.

Zwei Fragen müssen noch einer kurzen Beachtung unterzogen werden, nämlich: Haben sich der H_2O -Gehalt und der Fe-Gehalt seit der Ablagerung verändert, oder sind sie sowohl der Menge als auch dem Charakter nach unverändert geblieben?

Der Versuch hat gezeigt, daß die Farbe des Gesteins und der Wassergehalt des Rückstands direkt von einander abhängig sind. Der Farbwechsel ist aber bei einigen Handstücken der zur Verfügung stehenden Sammlung so intensiv in sehr wenig mächtigen Lagen, daß ein Wechsel im H_2O -Gehalt, etwa Dehydratation durch Temperaturerhöhung, sehr bald zu einer Angleichung der Farben geführt haben dürfte. Und die liegt nicht vor. C. W. TOMLINSON führt in seiner Abhandlung über die Red Beds die Überlegung betr. einer Veränderung des H_2O -Gehaltes der Eisenoxydhydrate durch und kommt zu dem Ergebnis, daß die Möglichkeiten der Hydratation und Dehydratation sich das Gleichgewicht halten, sodaß anzunehmen ist, daß der H_2O -Gehalt des Fe-Oxydhydrates seit der Ablagerung unverändert geblieben ist. Da als Hauptfaktor der Dehydratation Wärmeänderungen in Frage kommen, und die leichte Möglichkeit des Farbwechsels gezeigt worden ist, dürfte der Schluß gezogen werden, daß die H_2O -Menge des Fe-Oxydes seit der Ablagerung nicht verändert worden ist.

Was eine sekundäre Veränderung des Fe-Gehaltes anbelangt, so kämen für eine Vermehrung der ursprünglichen Fe-Menge alle die Gegengründe in Frage, die auch gegen die Annahme einer sekundären Zuführung insgesamt sprechen; sie dürfte wohl ausgeschlossen sein. Eine Verminderung des Fe-Gehaltes ist ebenso schwer anzunehmen. Dazu wäre ein Agens nötig, das imstande wäre, Fe_2O_3 (Al_2O_3 , SiO_2 evtl. auch) zu lösen, ohne dabei den Kalk in Mitleidenschaft zu ziehen. Außerdem müßte der Raum des Fe_2O_3 anderweitig aufgefüllt werden oder offen bleiben. Beides müßte der Schliff erkennen lassen. Ebenso wie die H_2O -Menge des Fe-Oxyds dürfte also auch dieses selbst der Menge nach nicht verändert worden sein.

Da dem Klima des Festlandes die ausschlaggebende Rolle für die Zusammensetzung der Flußwässer zufällt, und damit z. T. auch für die entstehenden Sedimente, wird also versucht werden müssen, die Änderungen in dem heute vorliegenden Gestein auf Veränderungen klimatischer Natur, evtl. auch Strömungen zurückzuführen, weil wir annehmen müssen, daß der entstandene Schlick bei der Diagenese nur kapillar gehaltenes H_2O , aber kein chemisch irgend-

wie gebundenes bzw. kolloidal gebundenes verloren hat und später in keiner Weise mehr verändert wurde.

Für diese Auffassung spricht auch das Aussehen des Schliffes an der Grenze zweier Farbschichten, das oben bereits beschrieben wurde.

Die Zufuhr des roten Materials hört auf, deswegen wird die Grundmasse heller und schließlich liegen nur noch einzelne rote Teilchen im hellen Kalkgrund; dann setzt die Zufuhr H₂O-reichen gelben Materials ein; sie beginnt mit vereinzelt Partikeln und führt zur Ausbildung der Schicht mit gelben „Einsprenglingen“ in mehr oder weniger gelber Grundmasse.

Z u s a m m e n f a s s u n g :

1. Die roten Kalke sind aufgebaut aus einer Kalkkomponente und einem Rückstand, der die gesamte färbende Substanz umfaßt.
 2. Der Rückstand und seine Farbe wird durch den Fe₂O₃-Gehalt bestimmt.
 3. Das Fe₂O₃, Al₂O₃ und SiO₂ sind primär mit dem Kalk zusammen sedimentiert und der Menge nach unverändert geblieben.
 4. Die Farbe hängt bei gleichem Fe-Gehalt nur vom Hydratwasser ab, das gleichfalls unverändert geblieben ist.
 5. Die Kalke sind im Sedimentationsbereich eines Festlandes mit Rotverwitterung entstanden. Als Transportmittel kommen Wind und Wasser in Frage.
 6. Die Analysen des roten Rückstandes und der Karstroterde sind nicht vergleichbar.
2. Die Beziehungen der roten Kalke zum hellen Triaskalk und ihre Analogien zum Hallstätter Kalk und Liaskalk

von K. LEUCHS.

Seitdem EDUARD SUESS im „Antlitz der Erde“ in seiner ruhigen und sicheren Art Hinweise auf die im Dachsteinkalk liegenden Probleme gegeben, ist nur wenig an neuen Beobachtungen über diese Fragen hinzugekommen. SUESS selbst hatte schon erkannt, wie gering erst die Kenntnisse darüber waren: „ein neues und anziehendes Feld der Forschung eröffnet sich hier, das kaum noch betreten ist, und ich vermag nur, einige einleitende Beobachtungen mitzuteilen.“ Er erwähnt dann die grellroten Scher-

ben, die einzelnen Bänken eingestreut sind: „bald sind sie eckig, als wären sie abgebrochen von einer erhärteten roten Bank, bald dünn geschichtet, rot und gelb.“

Meine Untersuchungen haben nun ergeben, daß tatsächlich dem Dachsteinkalk in ganz verschiedener Häufigkeit solche rote, auch gelbe Bänke eingeschaltet sind. Besonders in der mittleren Abteilung der Kalkmasse sind sie häufig, mehr oder weniger weit aushaltend, zu erkennen. Sie fehlen aber auch der oberen Abteilung nicht. Jedoch tritt in dieser die ursprüngliche bankförmige Lagerung viel mehr zurück gegenüber unregelmäßigem Auftreten roter Partien, die vereinzelt oder schwarmartig im lichten Dachsteinkalk liegen, und diese Anordnung ist es, die zu der Bezeichnung „schwimmende Scherben“ Veranlassung gegeben hat.

Die Untersuchungen von UDLUFT haben syngenetische Entstehung der roten und der hellen Kalke ergeben. Da aber diese (Dachsteinkalk, Hochgebirgsriffkalk) Riffgesteine sind, geht aus der Verknüpfung mit den roten Kalken die gelegentliche, örtlich und zeitlich wechselnde Unterbrechung der Riffbildung hervor.

Wo die roten Kalke keine größere Horizontalausdehnung besitzen, sind sie nichts anderes als Ausfüllung von Hohlräumen in den Riffen. Diese Art der Ausbildung tritt aber in den Gesteinspartien, aus denen die untersuchten Handstücke stammen, sehr zurück, und die vorliegenden Stücke gehören sämtlich zu roten Kalklagen, die sich über größere Flächen ausbreiten. Damit beweisen sie zeitweiliges Aufhören des Riffwachstums und Ersatz der Riffsedimentation durch die vom Lande her erfolgende Einschwemmung des roten Materials.

Von den analysierten 16 Gesteinen ist eines ein ladinischer Ramsaudolomit (Analyse 3). In ihm fehlt rotes Material überhaupt. 10 Analysen betreffen norische Kalke, von diesen ist einer (An. 2) lichtgrau, die anderen sind rot in verschiedenen Tönen. Sie stammen vom Hochkönig, Hochkalter (Hochalm) und Reitersteingebirge.

Bei diesen 9 roten Stücken schwankt die Rückstandsmenge stark, zwischen 26,9% und 1,02%. Ebenso schwankt die Zusammensetzung des Rückstandes. In % der Gesamtanalyse (angenehert) ergibt sich für:

SiO ₂	5,4—0,1
Al ₂ O ₃	18,0—0,1
Fe ₂ O ₃	22,5—0,1.

Daraus geht die Unmöglichkeit hervor, irgend eine regelmäßige Zusammensetzung des Rückstandes festzustellen. Menge und Beschaffenheit des Rückstandes sind örtlich sehr verschieden und beweisen damit die wechselnde Beschaffenheit des in das Riffgebiet einströmenden Wassers und die wechselnde Menge des jeweils ausgefallten Materials.

Wichtig ist dabei das Fehlen jeder grobklastischen Beimengung.

Die kalkige Komponente der roten Kalke ist, wie der Vergleich von An. 14—16 mit An. 2 zeigt, völlig übereinstimmend mit derjenigen der hellen Kalke.

Damit sind schon ziemlich weitgehende Ähnlichkeiten zwischen den beiden Hauptarten der Kalksteine festgestellt. Es kommt aber noch dazu die wenigstens in einem Teil der Handstücke durch Dünnschliffe nachgewiesene Übereinstimmung bezüglich des organischen Inhaltes. Denn sowohl in dem lichtgrauen Kalkstein des Hochkönigs (An. 2) wie auch in dem violettroten des Hochkönigs (An. 4), in dem gelbbraunen (An. 9) und rotbraunen (An. 10) des Reitersteins sind z. T. massenhaft Foraminiferen, meist nur als Schalenreste erhalten, eingebettet. Eine Bestimmung wurde bisher nicht vorgenommen, da erst noch weiteres Material gesammelt werden soll. Für die vorliegende Untersuchung genügt schon die Feststellung der Anwesenheit von Foraminiferen, denn sie zeigt, daß während der Sedimentierung der roten Lagen das Leben der Foraminiferen keine Unterbrechung erfuhr.

Dagegen hat, soweit die vorliegenden Schliffe bereits eine Entscheidung zulassen, das Wachstum der Kalkalgen ausgesetzt, wie besonders gut ein Schliff des norischen Kalkes vom Reiterstein zeigt:

Der lichtgraue Kalkstein ist von vielen Foraminiferen und Kalkalgen durchsetzt. Eine schmale unregelmäßig gewundene Calcitlage bildet die Grenze gegen die nächste Lage, die aus lichtgrauem Kalkstein mit sehr vielen einzeln im Kalk liegenden gelbbraunen und rotbraunen Eisenoxydkörnchen besteht. Im lichtgrauen Kalk sind noch zahlreich Foraminiferen enthalten. Nach oben werden die Eisenoxydkörner häufiger und bilden jetzt fast das ganze Gestein. Auch diese Lage wird abgeschlossen durch eine wesentlich breitere Calcitlage, die gleichfalls unregelmäßige gewundene Erstreckung hat. Auf ihr liegt eine sehr dünne Schicht von kleinen Eisenoxydkörnchen (gelbbraun), dann folgt eine ziemlich dichte graue Kalklage mit viel Foraminiferen und auf deren höckerige Oberfläche

legen sich gelb- und rotbraune Kalklagen von gleichfalls dichter Beschaffenheit, die aber in weiteren Schliffen deutlich ihre Zusammensetzung aus Eisenoxydkörnchen und großen Reichtum an Foraminiferen erkennen lassen.

Reste von Kalkalgen konnten in den Schliffen der roten Kalke nicht festgestellt werden, ebensowenig solche von Korallen, die aber auch in den hellen Kalken selten sind.

Diese Beobachtungen geben weitere Beweise für die schon erwähnte Unterbrechung der Riffbildung. Die Zufuhr der in den roten Lagen sedimentierten Bestandteile unterbrach das Wachstum der eigentlichen Riffbildner (Korallen und Kalkalgen), dagegen konnten die Begleitformen (Foraminiferen) weiter leben.

Die Ursache für die vielfach sich wiederholende Sedimentation der roten Kalke ist zu suchen in einem Wechsel der epirogenetischen Bewegungen, sei es, daß die gleichmäßige Senkung durch Stillstand unterbrochen wurde oder daß an Stelle von Senkung selbst eine vorübergehende schwache Hebung trat. Letzteres ist sehr wahrscheinlich für die Fälle, in denen grauer und roter Kalkstein als Breccie miteinander verkittet sind. Solche Breccien sind besonders häufig im obersten Teil der Kalkmassen (Steinernes Meer: Breithorn u. a.), wo rhätisches und liassisches Material gemengt ist, finden sich aber auch in tieferen Abteilungen (Südseite des Hochkönigs, An. 13 u. 14) im norischen Kalkstein und können als Beweise für Vorläufer der im Rhät und nach dem Rhät stärker und häufiger erfolgenden Bewegungen angesehen werden.

Es lag nahe, für die meist durch rote Farbe ausgezeichneten Hallstätter Kalke analoge Entstehung anzunehmen. Die Ausbildung dieser Kalke, insbesondere auch ihre räumliche Verbreitung und ihre geringe Mächtigkeit im Vergleich mit der rund 10 mal so großen der gleichzeitigen Riffgesteine (Ramsaudolomit, Dachsteinkalk und -dolomit), das Fehlen ladinischer Hallstätter Kalke u. a. sind alles Hinweise auf die Gleichartigkeit der Entstehung.

Dazu kommt, daß die Lagerung vieler Vorkommen von Hallstätter Kalk in Form mehr oder weniger ausgedehnter Linsen innerhalb der Riffgesteine sicher nachgewiesen ist. Es fragt sich nun, ob auch bezüglich des organischen Inhaltes Übereinstimmungen mit den roten Kalken bestehen. Untersuchungen darüber hat vor einiger

Zeit HEINRICH⁹⁾ ausgeführt an dem karnischen Kalk des Feuerkogels am Rötelstein bei Aussee. Es zeigte sich dabei als wesentlichstes Ergebnis, daß dieser Hallstätter Kalk ein Foraminiferengestein ist. Auf die sorgfältigen Untersuchungsmethoden zur Feststellung des organischen Inhaltes und auf den Anteil der verschiedenen Gruppen von Organismen, sowohl Foraminiferen als auch anderer (Kieselpongien, Kieselalgen, Krinoideen u. a.) gehe ich hier nicht ein.

Leider wurden keine Analysen des Kalkes ausgeführt. Deshalb suchte ich mir durch eine, ebenso wie die anderen Analysen von Herrn UDLUFT ausgeführte Analyse eines karnischen Hallstätter Kalkes von Zill bei Hallein wenigstens einigermaßen Einblick in die Zusammensetzung solcher Kalke zu verschaffen.

Es ergab sich folgendes:

Karnischer Hallstätter Kalk von Zill bei Hallein.

H ₂ O	0.4	} % der Analyse
CO ₂	40.82	
CaO	52.11	
Rückstand	6.67 gelbrot, tonig	
SiO ₂	31.24	2.10
Al ₂ O ₃	56.00	3.70
Fe ₂ O ₃	12.74	0.85
	% des Rückstands	% der Gesamteinwage

Diese Analyse besitzt weitgehende Übereinstimmung mit An. 1 des rhätischen Kalkes vom Watzmann Hocheck, unterscheidet sich aber auch von den Analysen der norischen Kalke grundsätzlich nicht (z. B. An. 5). Der Schliff zeigt neben Cephalopoden- und Lamellibranchiatenresten auch solche von Foraminiferen.

Während HEINRICH zu dem Ergebnis kam, im karnischen Hallstätter Kalk des Feuerkogels ein fossiles Globigerinensediment zu sehen und seine Bildung in die für dieses normalerweise gültige Tiefe von 2700—4500 m zu verlegen, nötigen die Übereinstimmungen in der Zusammensetzung, zwischen dem Ziller Kalk und den roten Lagen des Dachsteinkalkes dazu, wenigstens für diesen karnischen Hallstätter Kalk eine sehr geringe Bildungstiefe anzunehmen.

Zudem ist ja gerade die karnische Zeit eine solche teilweiser Verlandung des kalkalpinen Sedimentationsraumes, sodaß auch die

⁹⁾ Untersuchungen über die Mikrofauna des Hallstätter Kalkes. — Verh. Öst. Geol. Reichs-Anstalt 1913, S. 225—234.

tektonischen Vorgänge die Annahme tieferer Entstehung nicht unterstützen. Auch die Übereinstimmung mit der Analyse des rhätischen Kalkes vom Watzmann ist ein Beweis für die geringe Bildungstiefe des Hallstätter Kalkes von Zill. Es liegt fast die Versuchung nahe, gerade deswegen für den Hallstätter Kalk noch geringere Tiefe anzunehmen als für die roten Lagen im Dachsteinkalk, weil ja die rhätischen Schichten durch ihre Fauna überall Flachwasserentstehung anzeigen.

Da ich schon in den eingangs erwähnten Arbeiten die bis dahin bekannten Gründe gegen eine größere Entstehungstiefe der Hallstätter Kalke zusammengestellt habe, will ich hier nicht näher darauf eingehen. Ich konnte auch bis jetzt keine weiteren lithogenetischen Untersuchungen an Hallstätter Kalken ausführen. Indessen zwingt allein schon die enge sedimentäre Verbindung mit den Riffgesteinen dazu, die Hallstätter Kalke nicht in größerer Tiefe entstehen zu lassen. Denn es geht auch nicht an, zweierlei Bildungsart für die gleichen Gesteine anzunehmen. Bildung im Riff und auf dem Riff einerseits, Bildung zwischen und neben den Riffen andererseits sind in engster Verbindung miteinander erfolgt und es müßte sich größere Bildungstiefe der zweiten Art durch entsprechende andere petrographische Beschaffenheit bemerkbar machen. Andernfalls hätte das Gesetz von der Korrelation der Fazies keine Berechtigung mehr!

So bleiben auf Grund der bisherigen Untersuchungen die wesentlichen Unterschiede zwischen den roten Lagen und Linsen des Dachsteinkalkes und dem Hallstätter Kalk beschränkt auf solche der Fauna. Dort, wo in roten Kalken der Trias die Hallstätter Versteinerungen auftreten, werden diese Kalke Hallstätter genannt, während die diese typischen Formen entbehrenden Kalke als rote Lagen im Dachsteinkalk bezeichnet werden.

Der Unterschied gründet sich demnach auf das mehr oder weniger zufällige Moment der guten oder schlechten Fossilerhaltungsmöglichkeit, wohl auch auf die ursprünglich schon durch bessere oder schlechtere Lebensbedingungen hervorgerufene wechselnd starke Wasserbesiedelung. Grundsätzliche Unterschiede scheinen nicht zu bestehen, weder bezüglich der Lagerung, noch bezüglich der petrographischen Beschaffenheit, und es steht nichts der Annahme im Wege, die roten Lagen und Linsen im Dachsteinkalke als eine „verkümmerte Hallstätter Fazies“ zu bezeichnen.

Ein weiteres Ergebnis der chemischen Untersuchungen ist die grundsätzliche Übereinstimmung zwischen den Analysen der norischen und der rhätischen Kalke.

Die Rückstandsmenge dieser durch *Rhynchonellina iuvavica* bezeichneten Kalke¹⁰⁾ des Breithorns im Steinernen Meer (An. 6, 7, 11, 12) schwankt zwischen 2.09 und 6.60% und ebenso wechselt der Anteil der drei Oxyde, sodaß in drei Analysen und zwar denjenigen der dunkleren, rotbraunen Stücke das Eisenoxyd überwiegt, während in dem hellroten Stück Tonerde vorherrscht und in allen Stücken die Kieselsäure an Menge weit zurückbleibt.

Neben der *Rhynchonellina* treten, wenn auch nicht in allen untersuchten Stücken, massenhaft Foraminiferen auf, einzelne Schiffe erweisen sich als dicht mit Schalen dieser Organismen gespickt.

Die Gesteinsausbildung ist sehr unregelmäßig, verschieden gefärbte Lagen wechseln häufig, z. T. besteht das Gestein aus einer Breccie von lichtgrauen rhätischen Dachsteinkalkbruchstücken in einer braunen, graubraunen oder rotbraunen Grundmasse. Es macht sich auch hier die Einwirkung tektonischer Bewegungen, wahrscheinlich auch der Brandung bemerkbar.

Die Breccien sind auch nicht das einzige Merkmal für Sedimentationsunterbrechung. Denn im Berchtesgadener Gebiete ist vielfach der obere Unterlias transgressio über der norischen und rhätischen Trias abgelagert und beginnt mit Grundkonglomeraten, die außer den Komponenten aus der nächsten Umgebung auch ortsfremde enthalten (kristalline Gerölle, Buntsandstein u. a.). Im Hagengebirge beweist die Transgression des mittleren Lias über unteren Lias und über Dachsteinkalk sowie die konglomeratische und brecciöse Ausbildung des Oberlias die Fortdauer tektonischer Bewegungen während der ganzen Liaszeit.

Es ergibt sich daraus wesentlich unruhigere Sedimentation am Ende der Trias und im Lias des Berchtesgadener Gebietes gegen-

¹⁰⁾ Das liassische Alter dieser Kalke, das BÖSE und HAHN annehmen, wird von PIA bestritten (Stzgsber. Ak. d. Wiss. Wien, math.-naturwiss. Kl. Abt. 1, 132, 1923). PIA möchte die Gipfelkalke des Breithorns noch zur Trias und zwar eher zur norischen als zur rhätischen Stufe stellen, hält aber auch das Vorkommen von Rhät für wahrscheinlich, dann nämlich, wenn *Rhynchonellina iuvavica* noch im Rhät auftritt, wofür das von BÖSE festgestellte Vorkommen der rhätischen *Terebratula gregariaeformis* dicht westlich des Gipfels beweisend ist. Nach den Ausführungen PIA's dürfte es sich demnach bei den zur Analyse verwandten Stücken um rhätische Kalke handeln.

über den zwar häufigen, aber wegen der geringen Mächtigkeit der roten Lagen nur kurzdauernden Unterbrechungen der normalen Riffsedimentation der Trias.

Andererseits beweist aber die Zusammensetzung der rhätischen Kalke des Watzmanns und Breithorns die schon im Rhät teilweise beginnende und im Lias vollständig werdende Ersetzung der Riffsedimentation durch die im wesentlichen aus terrigenen Stoffen gebildete Sedimentation. Bei dieser hat natürlich die Kalkkomponente, besonders da die Sedimente im Riffgebiete und auf den Riffen abgelagert werden, noch großen Anteil, aber das Fehlen jeder Riffbildung und der jetzt alle Schichten bezeichnende Anteil der terrigenen Stoffe bilden die wichtigsten Unterschiede gegenüber der vorausgegangenen Trias-sedimentation mit ihrem der Menge nach so sehr zurücktretenden und nur episodischen terrigenen Anteil.

Eine bemerkenswerte Erscheinung ist die makroskopisch sehr große Gleichartigkeit zwischen manchen Hallstätter Kalken und dem Liaskalk in Adnether Fazies. Auch bezüglich ihres Faunengehaltes sind beide Formationsstufen nahe verwandt insofern, als in beiden Ammoniten in großer Menge enthalten sind. Es lag deshalb nahe, auch eine Analyse von rotem Adnether Liaskalk zum Vergleich heranzuziehen, die wieder Herr UDLUFT ausführte. Das analysierte Stück stammt vom Spitzstein an der Ostseite des Innquertals (Chiemgauer Alpen).

H ₂ O	0.44	} % der Analyse
CO ₂	37.57	
CaO	47.86	
Rückstand	14.13 gelbrot, tonig	
SiO ₂	24.74	3.50
Al ₂ O ₃	65.20	9.20
Fe ₂ O ₃	10.05	1.42
	% des Rückstands	% der Gesamteinwage

Diese Analyse zeigt eine so große Übereinstimmung mit der des karnischen Hallstätter Kalkes von Zill (s. o.), sowohl in Farbe und Beschaffenheit des Rückstandes, als auch im Mengenverhältnis der einzelnen Bestandteile und in diesen selbst, daß sich zusammen mit dem organischen Inhalt (auch im Adnether Liaskalk scheinen Foraminiferen vorhanden zu sein) eine fast völlige Gleichheit ergibt.

Das ist besonders wichtig für die Frage nach der Bildungstiefe der roten Ammonitenkalke des Lias. Denn wenn die roten Hallstätter Kalke, wie ich glaube, nach den bisherigen Untersuchungen annehmen zu dürfen, zu ihrer Entstehung keine größere Tiefe nötig haben, so gilt wegen der Gesteinsgleichheit dasselbe auch für die Adnether Kalke.

Im ganzen erhalten wir durch diese Feststellungen der Beschaffenheit roter Kalke ein wertvolles Mittel zur Vergleichung ihrer Entstehungsbedingungen. Es zeigt sich jetzt die immer wieder einsetzende Bildung roter Kalke als in unmittelbarer Abhängigkeit stehend von tektonischen Bewegungen und der dadurch hervorgerufenen Einschwemmung des roten (Fe_2O_3) Materials, zu dem noch SiO_2 und Al_2O_3 treten. Das Mengenverhältnis wechselt stark, aber das Ergebnis dieses Vorganges ist stets ein roter Kalk, und keine grundsätzlichen Unterschiede bestehen zwischen diesen Sedimenten, ganz gleich, ob es sich um karnische Hallstätter Kalke, rote Lagen im norischen und rhätischen Dachsteinkalk und Hochgebirgsriffkalk, oder um Liaskalk handelt.

Damit geben sich alle diese verschiedenartigen roten Kalke zu erkennen als Produkte eines einzigen Vorganges, der in der karnischen Stufe größere Wirkungen hervorruft, entsprechend den während dieser Zeit stärkeren tektonischen Bewegungen, als in der norischen und rhätischen Stufe, sich gegen das Ende der rhätischen Zeit wieder stärker bemerkbar macht und Hand in Hand mit den heftigeren Bewegungen, die damals begannen, zur Beendigung der Riffbildung und ihrem vollständigen Ersatz durch diese terrigen beeinflusste Sedimentation führt.

Das überwiegend von terrigenen Einschwemmungen freie Meer des Berchtesgadener Gebietes, das die Bildung der mächtigen Riffe ermöglicht hatte, wurde dadurch am Ende der Triaszeit in viel stärkerem Maße zum Ablagerungsgebiete für die Abtragungsprodukte des Landes bzw. der Landgebiete an den Küsten des Meeres und es kann aus dieser einschneidenden Änderung der Gesteinsfazies auf eine entsprechende Verseichtung dieses Meeresteiles geschlossen werden.

Es läßt sich noch nicht feststellen, ob und wie die tektonischen Bewegungen dieser Zeit in den Küstenländern gewirkt haben. Es läge nahe, auch für diese Gebiete Hebungen anzunehmen, wodurch sich die vermehrte Zufuhr von terrigenen Stoffen erklären ließe.

Andererseits könnte das Fehlen ladinischer Hallstätter Kalke erklärt werden durch fehlende Unterbrechung des normalen Senkungsverlaufes während der ladinischen Zeit, wodurch die Sedimente dieses Abschnittes eben nur in der reinen Riff-Fazies entstanden. Die Ausfüllung der Hohlräume der Riffe unterscheidet sich dann, da das färbende rote Material fehlt, äußerlich nur sehr wenig vom Riffgestein selbst und die Feststellung solcher Hohlräume ist, solange genauere petrographische Untersuchungen fehlen, nur möglich, wenn in ihnen reichere Ansammlung von organischen Resten stattgefunden hat.

Ein solcher Fall liegt vor bei der Kalklinse im ladinischen Ramsaudolomit am Antenbichl in der Ramsau, das gleiche dürfte zutreffen für die massenhaften Reste von Cephalopodenbrut und Gastropoden, die aus abgestürzten Blöcken des Wettersteinkalkes oberhalb Ehrwald gewonnen wurden, und für die Omphaloptychen-Nester, die im Wettersteinkalk gelegentlich zu finden sind.

Es sind das genetisch die gleichen Bildungen, wie im Dachsteinkalk, von welchem WALTHER¹¹⁾ aus dem Dachsteingebirge einen mit rotem Kalk ausgefüllten Hohlraum erwähnt, in dem Brachiopoden in normaler Lebenslage erhalten sind. Der Unterschied gegenüber den anderen Fossilnestern besteht nur in der roten Farbe und der petrographischen Zusammensetzung des Kalksteins.

Es bedarf selbstverständlich noch weiterer Untersuchungen, um die Frage nach der Entstehungsart der roten Kalke vollständig zu lösen. Aber schon aus diesen wenigen Tatsachen ergeben sich Beweise für die Bildungstiefe der roten Kalke, welche gegenüber den bisher vielfach ausschließlich herrschenden Vorstellungen einen gewissen Fortschritt darstellen. Wenn für die Ammoniten-führenden roten Hallstätter und Liaskalke bisher häufig einestails wegen ihrer roten Farbe, andernteils wegen ihres teilweisen Reichtums an Ammoniten Bildung in großer Tiefe angenommen wurde, so dürfte die vorliegende Untersuchung gezeigt haben, daß die petrographische Beschaffenheit keine große Bildungstiefe nötig macht.

Aber auch die Ammoniten nötigen nicht zu dieser Annahme. Ich sehe hier ganz ab von der weitgehenden Auflösung, welche die Schalen bei dem Niedersinken bis in große Tiefe erleiden müßten. Dagegen möchte ich auf die reiche Ammonitenführung des germani-

¹¹⁾ Die gesteinsbildenden Kalkalgen des Golfes von Neapel und die Entstehung strukturloser Kalke. Z. Deutsch. geol. Ges. 1885.

schen und besonders des schwäbischen Lias verweisen. Dieser ist unbestritten in sehr flachem Wasser sedimentiert und ist trotzdem (oder vielmehr gerade deswegen!) reich an Ammoniten. Der grundsätzliche Unterschied zwischen schwäbischem und alpinem Lias beschränkt sich demnach auf die Gesteinsausbildung, die im schwäbischen Lias treffend durch den Ausdruck „schwarzer Jura“ bezeichnet wird.

Wenn wir nun für das alpine Liasbecken verhältnismäßig offenes Wasser mit starker Durchlüftung annehmen, so erklärt sich die Erhaltung des roten, vom Lande zugeführten Materials, während in dem schwäbischen Liasbecken mit seinem sehr seichten, mehr oder weniger stark vom offenen Meere abgeschlossenen, z. T. auch in Lagunen stagnierenden Wasser durch die starke H_2S -Bildung von Pflanzen und Tieren Reduktion des Fe_2O_3 erfolgte.

Damit wäre der petrographische und besonders der Farbunterschied zwischen den Liassedimenten beider Gebiete erklärt, die doch beide, wenn auch sicher nicht in gleichem Maße, die Verwitterungs- und Abtragungsprodukte des vindelizischen Landes zugeführt erhielten.

Als ausschlaggebender Faktor für die Bildung der besprochenen roten Kalke hat sich die Zufuhr von rotem Material chersogenen Ursprunges in das kalkalpine Meer ergeben. Diese Zufuhr ist nach ihrer Menge sehr wechselnd, setzt längere Zeit hindurch ganz aus, tritt dann wieder in stärkerem Maße auf, dauert aber in der Trias (karnische bis rhätische Stufe) nie sehr lang an, sondern ermöglicht durch ihr Zurücktreten oder Verschwinden immer wieder die Riffsedimentation.

Erst am Ende der Trias bzw. nach der Trias wird sie erheblich stärker und allgemeiner, sodaß jetzt die Riffbildung ganz aufhört.

Es besteht Abhängigkeit dieser Materialzufuhr von tektonischen Bewegungen, indessen läßt sie sich heute noch nicht im einzelnen feststellen. Die unregelmäßige Einschaltung der roten Lagen im Dachsteinkalk verbietet den Gedanken an Entstehung der Einschwemmung durch exogene Vorgänge periodischer Wiederkehr. Strömungen im Meere sind selbstverständlich ausschlaggebend für die Verteilung der Sedimente.

So zeigt die Bildung der roten Kalke von der karnischen Stufe bis in den Lias die dauernde Wechselwirkung zwischen Land und

Meer und gibt in ihrer vielfachen Wiederholung zugleich Hinweise auf die Verschiedenheit der tektonischen Bewegungen in Raum und Zeit und dementsprechend auch ihrer Einwirkung auf die Abtragung des Landes und die Sedimentation im Meere.

Zusammenfassung:

1. Durch Zufuhr chersogener Stoffe (Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2) wird die Riffsedimentation zeit- und stellenweise verhindert.
2. Steigerung der chersogenen Zufuhr in der Liaszeit führt zu völligem Erlöschen der Riffbildung.
3. Es genügt schon eine geringe Menge der chersogenen Stoffe (1,02%), um die Riffbildung zu verhindern.
4. Es bestehen keine grundsätzlichen Unterschiede der petrographischen Fazies zwischen roten Hallstätter Kalken, roten Kalken im Dachsteinkalk und Hochgebirgsriffkalk, rotem Adnether Liaskalk.
5. Da die roten Lagen im Dachstein- und Hochgebirgsriffkalk in geringer Tiefe entstanden sind, gilt das gleiche für die Hallstätter und Lias-Kalke.
6. Die roten Lagen im norischen und rhätischen Kalk können als „verkümmerte Hallstätter Fazies“ bezeichnet werden.
7. Das Fehlen ladinischer Hallstätter Kalke erklärt sich durch Ausbleiben chersogener Stoffzufuhr.
8. Die in der Farbe vom Riffgestein nicht wesentlich verschiedenen Fossilinseln der ladinischen Kalke und Dolomite sind genetisch gleich den Hallstätter Linsen.
9. Die Unterschiede der Gesteinsfazies, besonders hinsichtlich der vorherrschenden Farben, zwischen alpinem und schwäbischem Lias erklären sich durch fehlende bzw. starke Reduktion des Eisenoxydes.
10. Die Ursache der wechselnden Zufuhr chersogenen Materials ist in ungleichen episodischen Bodenbewegungen zu suchen. Die räumliche Verteilung der roten Sedimente ist abhängig von Meeresströmungen.