

Sedimentationsverhältnisse im Mesozoikum der nördlichen Kalkalpen.

Von Kurt Leuchs.

In der Alpengeologie setzt sich mehr und mehr die Überzeugung durch, daß die bisher fast ausschließlich betriebene Art der Forschung, und zwar besonders in den Kalkalpen, nicht vermag, das Rätsel des Alpenbaues zu lösen.

Ich erinnere hier an die Schwierigkeiten, welche infolge des starken Fazieswechsels in vertikaler und horizontaler Richtung entstehen. Solange für die kalkalpinen Sedimente im wesentlichen Entstehung in großer Tiefe und Küstenferne angenommen wurde, war keine Möglichkeit, diesen Wechsel zu erklären. Dazu kam, daß die petrographisch-lithogenetische Untersuchung der Sedimentgesteine sehr vernachlässigt wurde, daß falsche Vorstellungen über die Beschaffenheit entsprechender rezenter Sedimente herrschten (z. B. Korallenriffe) und daß die Kenntnisse über diagenetische Vorgänge unzureichend waren.

Daraus entstand allmählich eine Art von Beharrungszustand, in dem sich die Untersuchungen an diesen Gesteinen hauptsächlich auf die Bestimmung der Versteinerungen beschränkten. Das Ergebnis dieser Untersuchungen war die wohl ziemlich vollständige Erfassung der versteinerten Lebewelt jener Zeiten, die daraus hervorgehende Unterscheidung von größerer oder geringerer Bildungstiefe der Sedimente, von gelegentlich deutlich bemerkbaren Einflüssen des Landes, aber die Gesteine selbst wurden dabei vernachlässigt.

Die unzureichende Berücksichtigung der in den Gesteinen enthaltenen Hinweise auf ihre Entstehungsart brachte dazu, die Unvollständigkeit mancher Schichtreihen auf die Wirkung späterer tektonischer Bewegungen zurückzuführen, Schubmassen und Decken wurden konstruiert, und die an sich schon reichlich verwickelte Tektonik der Kalkalpen wurde dadurch, unnötigerweise, noch mehr kompliziert.

Beispiele dafür sind das sog. „Wamberger Fenster“ im Wettersteingebirge, dessen Nichtbestehen ich vor einigen Jahren nachweisen konnte¹⁾, oder die „Hallstätterfazies“, deren Sedimente in dem gleichen Raume und zusammen mit den Riffgesteinen der Berchtesgadener Fazies entstanden sind²⁾.

Allmählich setzte sich aber doch die Überzeugung durch, daß das kalkalpine Meer kein besonders tiefes und küstenfernes Meer gewesen sein konnte, und wir können heute die bezeichnenden Eigenschaften dieses Meeres dahin zusammenfassen, daß es keine ausgesprochene Tiefsee war, vielmehr ein Mittel-

¹⁾ Zeitschr. d. Deutsch. Geol. Ges. 1923, Mon.-Ber. 100—113.

²⁾ Centralbl. f. Min. uws., Abt. B., 213—223, 1925.

meer geringerer, zeit- und stellenweise sehr geringer Tiefe, mit starker Stoffzufuhr von den angrenzenden Ländern im N und S, welches zeitweise größere und kleinere Inseln und untermeerische Rücken enthielt, mithin auch eine sehr wechselnde Bodenbeschaffenheit hatte, daß die epirogenetische Senkung des Gesamttraumes durch stärkere Bewegungen schon in der Triaszeit, am Ende der Triaszeit und auch, wiederholt, in der Jura- und älteren Kreidezeit unterbrochen wurde.

Es waren das die Vorläufer der mittelkretazischen Orogenese, nach diesem Höhepunkte erfolgte dann in entsprechender Weise der Übergang in die noch stärkeren Bewegungen der Tertiärzeit.

Deshalb bietet die gesamte Sedimentation vom Beginn der Trias bis zum Obermiozän auch das durch den häufigen Wechsel in vertikaler und horizontaler Richtung ausgezeichnete Bild, besonders wenn berücksichtigt wird, daß die Bewegungen in diesem so verschieden gestalteten Sedimentationsraume auch in verschiedener Weise und Stärke in den einzelnen Teilen erfolgten.

Der Schlüssel für die Tektonik liegt nun, meines Erachtens, in der Untersuchung dieser Sedimente. Erst durch die Feststellung der früheren Zustände des Meeres und der angrenzenden Landgebiete, mit Hilfe der aus den Sedimentgesteinen sich ergebenden Tatsachen, wird es möglich, Art und Ausmaß der tektonischen Bewegungen zu erkennen.

Es sind in den letzten Jahren schon eine Reihe von Arbeiten erschienen, welche wertvolle Beiträge zur Lösung dieser Fragen enthalten, die Hauptarbeit bleibt aber noch zu tun.

Von dem, was wir heute darüber wissen, möchte ich nun einiges bringen.

In den bayrisch-tirolischen Kalkalpen beginnt die Trias mit der skythischen Stufe. Im allgemeinen läßt sich in ihr eine Abnahme der Korngröße zum Hangenden hin feststellen derart, daß sie mit groben Konglomeraten und Breccien beginnt, deren Bestandteile aus der Grauwackenzone stammen, und allmählich oder sprunghaft in Quarzsandsteine übergeht. Auch in diesen treten gelegentlich Gerölle in Lagen und Linsen oder ganz vereinzelt auf, Letten und Tone schalten sich ein, und überwiegen stellenweise.

Dann treten, in höheren Lagen, Kalksteine auf und verdrängen, zusammen mit Mergeln, Dolomiten, Rauchwacken mit Gips, die Sandsteine und Schiefer-tone. Im oberen Teil der Stufe liegen auch die Salzlager von Hall, Berchtesgaden-Hallein, Reichenhall und die des Salzkammergutes.

Daraus geht hervor: starke Stoffzufuhr vom Lande und zwar Gebirgslande variskischer Entstehung, allmähliches Nachlassen der Erosion zusammen mit Vordringen des Meeres und Lagunenbildung an der Küste unter aridem Klima, welches zur Ausscheidung von Anhydrit und Salz führt.

In der anisischen Stufe setzt sich die marine Ausbildung verstärkt fort, die Sedimente werden einheitlicher und über größere Gebiete gleichmäßiger, terrigene gröbere Bestandteile treten mehr und mehr zurück, aber Gleichmäßigkeit der Sedimentation wird auch jetzt für das Gesamtgebiet nicht erreicht. Sie wird überhaupt nie erreicht und es lassen sich stets einzelne faziell verschiedene Bezirke unterscheiden, und auch innerhalb dieser Faziesbezirke bleibt Mächtigkeit und Ausbildung der Sedimente verschieden.

Die mittlere und obere Abteilung dieser Stufe, der alpine Muschelkalk, ist verhältnismäßig gleichartig ausgebildet, jedoch finden sich auch in ihm, wenn auch selten, terrigene Einschwemmungen in Form von biotitreichen Quarzsandsteinen. Außerdem beweist die Ausbildung der Gesteine, besonders die knollige und wulstige Beschaffenheit vieler Schichtflächen (Wurstelbänke) und die weitgehende Übereinstimmung der Fauna mit der des germanischen Muschelkalks, daß Meerestiefe und Küstenentfernung nicht sehr groß waren.

An das bayrisch-tirolische Faziesgebiet schließt sich im Osten das Berchtesgaden-Salzburger. Dort erfolgte schon in anisischer Zeit Riff-

bildung in großem Ausmaße, welche sich durch die ladinische, mit kurzer teilweiser Unterbrechung in der karnischen Zeit, in die norische und rhätische Zeit fortsetzt.

Dort entstehen jetzt zum erstenmal die wegen ihres Reichtums an Versteinerungen so wichtigen Hallstätter Kalke, welche auch aus der karnischen und norischen Stufe bekannt sind. Über ihre Entstehung habe ich schon an anderer Stelle berichtet, will daher nur kurz das wichtigste anführen.

Sie sind Begleitgesteine der Riffbildung, zusammen mit dieser entstanden in Höhlungen der Riffe, weshalb sie oft Nester und Linsen in diesen bilden, und zwischen den Riffen („Kanäle“). Ihr Reichtum an Lebewesen ist eine unmittelbare Folge der Riffe, welche nicht nur Schutz vor Nachstellungen, sondern auch reichliche Nahrung boten.

Wichtig ist auch der Nachweis von Übergangszonen zwischen Hallstätterkalken und bayrischer Fazies, welcher in gleicher Weise die Annahme von Fernschüben unnötig macht.

Ladinische Sedimente sind im Westteil Wettersteinkalk und Partnachsichten. Auch bei diesen Gesteinen konnte ich an einem Beispiele (Wettersteingebirge) nachweisen, daß sie zeitlich gleich sind und daß die örtlichen Verschiedenheiten durch zu verschiedenen Zeiten einsetzende oder ganz fehlende Riffbildung zu erklären sind. Demgemäß erklären sich die Schichtfolgen:

a) Raibler Schichten	b) Raibler Schichten	c) Raibler Schichten
Wettersteinkalk	Wettersteinkalk	Partnachsichten
Muschelkalk	Partnachsichten	Muschelkalk,

wo bei a) Riffbildung während der ganzen ladinischen Zeit,

b) nur im oberen Abschnitt,

c) überhaupt nicht erfolgte.

Der Nachweis dieser drei Möglichkeiten (denkbar wäre noch als vierte die Überlagerung von Wettersteinkalk durch Partnachsichten) hat für das Wettersteingebirge, in welchem diese 3 Ausbildungen nebeneinander liegen, wesentliche Vereinfachung der Tektonik gebracht.

Der Wettersteinkalk muß trotz oder vielleicht gerade wegen seiner Versteinerungsarmut als Riffgestein bezeichnet werden. Die neueren Untersuchungen an rezenten Riffen haben ja gezeigt, daß nicht nur, wie im Wettersteinkalk, Kalkalgen der Menge nach die Korallen überwiegen, sondern daß auch die Riffgesteine schon in geringer Tiefe infolge der diagenetischen Vorgänge sehr arm an Versteinerungen sind, sowie daß dabei die aus Aragonit bestehenden Korallenskelette leichter aufgelöst werden und deshalb noch mehr gegenüber den Kalkalgen und anderen Hartteilen zurücktreten.

Es bildet sich dadurch ein massiges, z. T. auch geschichtetes Kalk- bzw. Dolomitgestein.

Denn auch die Dolomitbildung ist bei subrezentem Riffen mehrfach festgestellt und kann deshalb sinngemäß auch zur Erklärung der Dolomitbildung in solchen älteren Gesteinen herangezogen werden.

Die Verbreitung des Dolomitgesteins ist ja ganz unregelmäßig, es tritt in einzelnen Lagen, Linsen, Nestern auf, das Mengenverhältnis von Kalkstein und Dolomit wechselt häufig, in einigen Teilen fehlt Dolomit ganz, in anderen Teilen ist fast die gesamte Masse Dolomit (Ramsaudolomit), wobei nur noch geringmächtige Kalklagen und -linsen eingeschaltet sind.

Beispiele dafür bieten sich überall. Ich erinnere hier nur an die Kalklinse des Antenbichls in der Ramsau bei Berchtesgaden, welche im Ramsaudolomit liegt und durch Reichtum an Versteinerungen ausgezeichnet

ist, wodurch sie zugleich bezüglich ihrer Entstehung nahe Beziehungen zu der des Hallstätter Kalkes offenbart und damit vielleicht die Möglichkeit gibt, auch ladinische ähnliche Bildungen nachzuweisen.

Verschiedene Tiefenzonen läßt die karnische Stufe erkennen, am deutlichsten im Osten, wo von N nach S vier Zonen erscheinen:

- N: Litoralzone mit Sandstein, Pflanzen und Kohlen; Sublitoralzone mit Sandstein, Flachmeerfauna, eingeschwemmten Pflanzen und Insekten; hemipelagische Zone mit Kalkstein, Dolomit u. a. ;
S: Litoralzone mit Sandstein.

Daraus geht schon hervor, daß in dieser Zeit die Bedingungen für vielfachen petrographischen und faunistischen Wechsel gegeben waren mit stärkster fazieller Verschiedenheit im ganzen und selbst innerhalb der einzelnen Zonen.

Hebungen und damit Beendigung der Riffbildung im größten Teil des Gebietes bezeichnen den Beginn der karnischen Zeit, Hebungen und Senkungen erfolgen auch während dieser Zeit mehrfach, bis mit der norischen Zeit wieder die dauernde epirogenetische Senkung überwiegt.

Deswegen wird jetzt die Sedimentation wieder einheitlicher, mächtige Dolomite und Kalksteine entstehen (Haupt- bezw. oberer Ramsaudolomit, Dachsteinkalk und -Dolomit), terrigene Einflüsse treten zurück. Aber auch im Hauptdolomit kommen Kalkeinschaltungen vor, sowohl in der unteren Abteilung (z. B. Kaisergebirge, Walchseetalung, Guffert-Pendinggruppe) als auch, häufiger, oben, wo sie die Übergangszone wechselnder Mächtigkeit zum Plattenkalk bilden.

Auch dieser ist teilweise als Plattendolomit entwickelt, in anderen Fällen läßt er sich vom Hauptdolomit überhaupt nicht abtrennen, so daß über diesem sofort die Kössener Schichten kommen.

Die Versteinerungsarmut des Hauptdolomites ist bekannt (die Fische von Seefeld und Adneth liegen ja in den ihm eingeschalteten geschiefertten Mergeln, den Asphalttschiefern). Etwas günstiger ist es mit dem Plattenkalk, in welchem ich außer den bisher bekannten kleinen Gastropoden auch einen Seefelder Fisch (*Heterolepidotus*) fand. Für die Entstehungsart des Plattenkalkes, und damit wohl auch des Hauptdolomites, dürfte außerdem wichtig sein das Vorkommen von *Sphaerocodium*, welches ROTHPLETZ vor langer Zeit an einer Stelle im Karwendelgebirge, vor kurzem ich selbst an zwei Stellen im Kaisergebirge feststellte.

Im Berchtesgadener Gebiete ist das Norikum wechselnd ausgebildet als Kalkstein oder Dolomit. Im ganzen ist auch dort die Ausbildung einförmig, wird aber wechselvoll in der Übergangszone zum bayrischen Faziesgebiet. Dort treten in den Hallstätter Kalken z. B. auch Kieselbänderkalke mit *Pterophyllum* auf, was für die Frage nach der Bildungstiefe dieser Hallstätter Kalke von großer Bedeutung ist und zusammen mit den anderen Eigenschaften, wie etwa dem Versteinerungsreichtum, für Entstehung in ziemlich seichtem, landnahem Meere spricht. Ein weiteres Kennzeichen dieser Übergangszone ist der starke petrographische Wechsel bei im allgemeinen geringer Mächtigkeit der verschiedenen Gesteinsarten.

Das Rhät ist wieder sehr wechselvoll entwickelt. Kössener Kalke und Mergel, sowie Oberrhät-Riffkalk in Bayern und Nordtirol, Dachsteinkalk in Berchtesgaden-Salzburg sind die Hauptgesteine, im einzelnen herrscht größere Mannigfaltigkeit der Ausbildung.

Im Kammerkeergebirge z. B. sind vier verschiedene Bezirke vorhanden:

Kössener Schichten aus tonigen Kalken und Mergeln, zurücktretende Mergel und Auftreten hellerer Kalke, bunte Kalke mit Kalkkonglomeraten und -brekzien, helle Riffkalke, diese bemerkenswert durch die reiche Flora

und Fauna von Riffbildnern (Kalkalgen, Korallen) und durch das massenhafte Vorkommen von Begleitfaunen, die meist nesterweise im Gestein liegen derart, daß z. B. *Oxytoma inaequivalve* zu Tausenden auftritt.

Damit ist zugleich ein guter Übergang zum Berchtesgadener rhätischen Dachsteinkalk vorhanden, der sich ohne scharfe Grenze aus dem norischen Dachsteinkalk entwickelt. Zu oberst sind dort stellenweise Mergel vom Typus der Kössener Mergel vorhanden, so daß dort die bayrische Schichtfolge in umgekehrter Reihenfolge erscheint.

Stärkere tektonische Bewegungen an der Wende Trias-Jura, mit Trockenlegung größerer Gebietsteile, erzeugen einen kräftigen Hiatus der Sedimentation. Deshalb liegt der Lias vielfach transgressiv und beginnt erst mit höheren Stufen, entsprechend der allmählichen oder ruckweisen Überflutung. Die Folge dieser Vorgänge ist wechselnde Ausbildung der Sedimente, Sonderung in Strandfazies mit Aufarbeitung des Untergrundes und in solche tieferer Zonen.

Deutlich ist dabei der Einfluß der Triasriffe als Inseln und Untiefen bemerkbar¹⁾. Auf ihnen setzt sich der Hierlitzkalk ab, z. T. mit konglomeratischen und brekziösen Lagen. Größerer Tiefe entsprechen die Kieselkalke, auch Adnether und Cephalopodenkalke, sowie die Fleckenmergel. Doch auch bei diesen Fazies finden sich Beweise für Entstehung in geringer Tiefe. So transgrediert im Hagengebirge bei Berchtesgaden der Cephalopodenkalk über Hierlitzkalk, enthält Brocken dieses Gesteins und liegt selbst auch unmittelbar auf Dachsteinkalk. Der obere Lias endlich ist dort petrographisch sehr wechselnd ausgebildet, teilweise grobklastisch (Sandsteine, Brekzien, Quarzkonglomerate mit Trümmern skythischer Schiefer). Diese ganze Schichtfolge des Lias ist somit Küstenbildung und abhängig von Vertikalbewegungen des Riffkörpers.

Die Riffmassen möchte ich daher für eine Hauptursache des Sedimentationswechsels im Lias halten, denn durch sie und durch ihre noch erhaltenen Reste erhielt der Meeresboden sein höchst unruhiges Relief. In den Gebieten zwischen den Riffen entstanden Sedimente größerer Tiefe, aber auch bei den Fleckenmergeln z. B. ist teilweise strandnahe Ausbildung vorhanden und die Einflüsse der Küsten, besonders im Norden, treten immer deutlicher hervor.

Im Dogger machen sich gleiche Erscheinungen wie im Lias geltend, jedoch in schwächerem Maße. Sonderung in eine unter sich verschiedene Kalkfazies und eine Mergelfazies bleibt bestehen.

Die Kalkfazies tritt nur in Teilen des Gebietes auf, im wesentlichen in der Nordzone zwischen Iller und Loisach, sowie zwischen Riesenkopf am Lintal und Salzach. Man könnte diese, aus den Vilser-Alpen seit langer Zeit bekannten Doggerkalke wegen ihrer faunistischen Bestandteile und der Art ihres Auftretens beinahe als Hierlitzfazies des Doggers bezeichnen, während die Mergel noch typische Fleckenmergel sind.

Im ganzen spricht die Ausbildung des Doggers für ungleichmäßiges Bodenrelief als Folge von tektonischen Bewegungen. Dadurch kann auch das Fehlen von Schichtgliedern im Dogger, wie überhaupt im alpinen Jura, erklärt werden. Bei Landl (westlich Kufstein) liegen rote tithonische Aptychenschichten als Aufarbeitungsprodukt über rotem Cephalopodenkalk des mittleren Lias, so daß dort beträchtliche Sedimentationsunterbrechung vorhanden ist.

Die Trennung von Kalk- und Mergelfazies herrscht auch im Oberjura noch, aber die Mergel sind wesentlich verbreiteter als die reinen Kalke. Die Mergelfazies besteht aus den Aptychenschichten, also Mergeln, Mergelkalen, Kieselkalen, dazu treten Hornsteine. Meist liegen sie an der Basis und gehören vielleicht dem unteren Malm oder selbst dem Dogger an. Diese Hornsteinbänke enthalten Aptychen und Radiolarien.

¹⁾ Senckenbergiana 7, 247, 1925.

Stellenweise liegen solche Radiolarite aber auch im Hangenden der Aptychenschichten und sind in enger sedimentärer Verknüpfung mit Konglomeraten und petrographisch sehr wechselnden Gesteinsreihen (verschiedene Teile der Nordzone). Da aber solche grobklastische Schichtglieder in der ganzen Oberjurareihe der Nordzone vorkommen und da die tithonische Kalkfazies des Oberjura dort Hierlatzähnlich ist, so bleiben als Anzeichen für Tiefseeentstehung des Oberjura nur die Radiolarite. Ohne diese würde niemand Bedenken tragen, dort eine Küstenzone anzunehmen, sowie eine entsprechende Hebung von Teilen der Südzone, wodurch die Jura-gerölle in den Konglomeraten erklärt würden. Auffallend ist auch, daß zwar in den vereinzelt Vorkommen der Adnether-ähnlichen Kalkfazies der gesamte Oberjura paläontologisch nachgewiesen werden konnte, daß aber die Hierlatz-ähnliche Kalkfazies nur tithonische Versteinerungen enthält und auch die Aptychenschichten bisher stets tithonisches Alter ergeben haben. Es kann noch nicht entschieden werden, ob der übrige Malm tatsächlich im Bereiche der Mergelfazies fehlt oder nur paläontologisch nicht nachzuweisen ist.

Fehlt er tatsächlich, dann würde das eine Ausdehnung der Hebung auch über große Teile der Nordzone beweisen und dadurch hervorgerufene Unterbrechung der Sedimentation, bis im Tithon wieder im ganzen Gebiete marine Absätze entstehen konnten, teilweise ausgezeichnet durch die groben Einschwemmungen von den noch erhaltenen Resten des gehobenen Gebietes.

Die Möglichkeit submariner Rutschungen von diesen Landresten nach Nord in das Meer wäre hier auch zu erwägen. Es könnte dadurch, besonders bei Auslösung solcher Rutschungen durch tektonische Beben, die innige Vermischung von Radiolarit und grobklastischem Material erklärt werden.

Ob allerdings ein so tiefes Meer, wie es für Radiolaritbildung meist gefordert wird, in jener doch verhältnismäßig kurzen Zeit an Stelle des vorherigen Hebunggebietes entstehen konnte, bleibt fraglich. Auch die unbedingte Notwendigkeit, die Fundorte von fossilen Radiolarien stets als ehemalige Tiefsee zu betrachten, dürfte nicht zu beweisen sein, da ja die Radiolarien als planktonische Formen leicht auch in Meeresgebieten geringerer Tiefe sedimentiert werden konnten.

Zusammenfassend läßt sich über die Jura-Zeit sagen, daß sie ebenfalls, wie die Triaszeit, ausgezeichnet ist durch häufigen horizontalen und vertikalen Wechsel der Sedimentation, zeitweise Verhinderung der Sedimentation durch Hebung und Landbildung, Beeinflussung durch Küstenzerstörung und Aufarbeitung des Untergrundes, so daß auch die Jurazeit als eine tektonisch unruhige erscheint.

Die Unterkreide ostalpiner Fazies entwickelt sich allmählich aus den tithonischen Aptychenschichten. Es entstehen so Übergänge zu den für das Neokom typischen grauen und grünlichen Mergeln.

In den schon im Jura durch Einschaltung größerer Komponenten ausgezeichneten Gebieten wiederholt sich dieser Vorgang. Konglomeratbänke, sandige Mergel und Kalke, selbst große Brekzien aus kalkalpinem und kristallinem Material, sandige Lagen mit Pflanzen, mit verschiedenen Geröllen und Bruchstücken von Hornstein treten auf. Sie sind nicht auf Küstenzonen beschränkt, sondern kommen sowohl im N (Tegernsee, Schliersee) und S (Kammerker, Reiteralp), als auch in der Mitte des Gebietes (Landl) vor und beweisen weitere tektonische Bewegungen in der Neokomzeit, während das Neokom im Habersauertal des Kaisergebirges, mit grobem Konglomerat aus den örtlichen Triasgesteinen beginnend und in Sandstein und Mergel übergehend, auf vorneokome Bewegungen schießen läßt.

Litorale Einschläge ähnlicher Art finden sich auch im Gault, der allerdings nur in sehr geringem Maße erhalten ist infolge der durch die mittelkretazische Orogenese ermöglichten starken Abtragung.

Denn nach allem, was die Ausbildung von Cenoman und Gosaukreide zeigt, besonders nach der mächtigen Schuttverfrachtung von dem vorher entstandenen Gebirgslande, der vielfach mit einer Aufarbeitung des Untergrundes und der Brandungswirkung auf die felsige Küste beginnenden Sedimentation, die dann in wechselndem Maße noch durch Zufuhr von fluviatilen Geröllern aus dem Hinterlande verstärkt wird („exotische Gerölle“), muß ein bedeutendes Faltengebirge nach der unteren Kreidezeit entstanden sein.

Einfache Hebung genügt nicht zur Ermöglichung derartiger Massenverfrachtungen und derart bunt durcheinander gewürfelter Gesteinstrümmen.

Die Folge dieser starken Gebirgsbildung war aber, daß damit große Teile des kalkalpinen Gebietes schon endgültig dem zentralalpinen Lande angegliedert wurden.

Ich will jedoch auf diese Vorgänge nicht weiter eingehen. Die mittelkretazische Orogenese beendet die das ganze Kalkalpengebiet beherrschende lange Sedimentationsperiode des Mesozoikums, deshalb schließe ich mit ihr den notwendiger Weise sehr gedrängten Überblick und möchte nur noch kurz einige allgemeine Fragen besprechen, die sich daraus ergeben.

Wenn auch die einschlägigen Untersuchungen über die Bildungsumstände der kalkalpinen Sedimente über vereinzelte Ergebnisse bisher noch nicht hinausgekommen sind, läßt sich doch heute schon erkennen, daß die Mannigfaltigkeit dieser Sedimente in erster Linie durch tektonische Bewegungen hervorgebracht ist.

Das ist ja an sich nichts Neues, denn wir wissen seit langer Zeit, daß eine enge kausale Verknüpfung zwischen Tektonik und Sedimentation besteht. Das zeigt sich am deutlichsten am Beginn und am Ende der kalkalpinen Sedimentationsperiode durch das, wenn wir für jenen noch die Permzeit mit einbeziehen, ziemlich plötzlich einsetzende Entstehen größter Ablagerungen in großer Menge und das mehr oder weniger allmähliche Abnehmen der Korngröße zum Hangenden hin. Nach der mittelkretazischen Orogenese wiederholt sich dieser Vorgang in gleicher Weise.

Eine Tatsache aber, die meiner Ansicht nach bisher zu wenig beachtet wurde, ist die der häufigen Einschaltungen gröberer Sedimente in die zwischen diesen deutlich orogenen Sedimenten liegende epirogene Schichtreihe.

Ihre Entstehung läßt sich aber nur durch stärkere Bewegungen erklären als durch normale epirogenetische senkende, deshalb geht aus der Untersuchung dieser Sedimente hervor, daß auch zwischen den beiden Orogenesen von Zeit zu Zeit stärkere Bewegungen, und zwar sowohl senkende als auch hebende erfolgt sein müssen.

Ferner zeigt sich die Verschiedenartigkeit dieser Bewegungen in einzelnen Teilen des Sedimentationsraumes. Zusammen mit den während des ganzen Mesozoikums sich geltend machenden Einflüssen der angrenzenden Landgebiete, wobei wohl, abgesehen von der unteren Trias, der des vindelizischen Landes deutlicher hervortritt als der des zentralalpiner, ergibt sich daraus eine Erklärung für die ganze Mannigfaltigkeit der Sedimentation in dem verhältnismäßig schmalen Meeresarme, dessen Boden höchst ungleichmäßig war.

Dieses Bodenrelief gab auch die Möglichkeit für Entstehung von Riffen, die ein Hauptkennzeichen der Triaszeit sind. In ihr waren

stärkere Bodenbewegungen noch weniger zahlreich, sie erfolgten hauptsächlich nur in der karnischen und am Ende der rhätischen Zeit. Häufiger dagegen treten sie in Jura und Unterkreide auf und es scheint, daß sie so in ihrer Gesamtheit nichts anderes sind als die Vorläuferwellen der mittelkretazischen Orogenese.

Es waren, wenn wir diese Vorgänge mit den Erdbebenerscheinungen vergleichen, die kleineren Beben, welche die in diesem Erdräume entstandenen Spannungen auszulösen suchten, aber nur vorübergehend zu neuen Gleichgewichtszuständen führten. Reststörungen in den Spannungsverhältnissen blieben zurück, die sogleich wieder den Keim zu neuen, sich verstärkenden Spannungen legten.

Daraus ergibt sich eine weitere Analogie zu den heutigen Bruchgebieten der Erde. Die Erdbebenforschung lehrt uns, daß in diesen etwa 50 kleinere Beben nötig sind, um die hohe, zur Entstehung eines Großbebens nötige Spannung zu erzeugen und auszulösen, mit anderen Worten: je stärker der innere Widerstand eines Gebietes, desto langsamer reift die Spannung und desto seltener erfolgt die vollständige Auslösung, die dann auch umso heftiger vor sich geht.

Eine andere Frage, der wir durch die Lithogenese näher treten können, ist die nach dem jeweils herrschenden Klima. Diese für Kontinentalbildungen ziemlich leicht durchführbare Unterscheidung, wenigstens von Produkten humiden und ariden Klimas, entsprechend dem Vorkommen von Kohle oder Salz, versagt bei unseren vorwiegend marinen Sedimenten natürlich. Jedoch geben uns eine Reihe von Gesteinen sichere Auskunft über die bei ihrer Entstehung herrschenden Klimaverhältnisse.

Für die skythische Trias beweisen die Salzlager als Abscheidung in Lagunen arides Klima. Die höheren Stufen dagegen, bzw. schon der oberste Teil der skythischen Stufe selbst zeigen, daß Übergänge zu einem feuchteren Klima stattfanden, daß für diese Zeiten im wesentlichen tropisches Klima anzunehmen ist, mit einer Wärme des Meerwassers über 20°, so daß die gewaltige Riffbildung beginnen konnte, die sich, z. T. in der karnischen Zeit aus tektonischen Gründen unterbrochen, bis an das Ende der Trias fortsetzte.

Über die späteren Abschnitte des Mesozoikums läßt sich bisher noch wenig Sicheres aussagen. Es dürfte indessen feststehen, daß das Meerwasser durchweg als wärmeres zu bezeichnen ist. Ob größere Unterschiede zeitweise eintraten, ob eine allmähliche Temperaturabnahme erfolgte, — über diese und weitere Fragen wissen wir aus Mangel an entsprechenden Untersuchungen noch fast nichts.

Für die Tektonik werden sich, meines Erachtens, durch die genaue Feststellung der Entstehungsbedingungen der Sedimente und durch die Untersuchung der Übergangszonen zwischen den einzelnen Fazies besonders wichtige Feststellungen ergeben. Es wird dadurch möglich werden, mit größerer Sicherheit als bisher die Förderweite der Schubmassen und Decken zu berechnen, es wird wohl auch, wie ich schon an einigen Beispielen gezeigt habe, zum Fortfall von Decken kommen. Wenn dadurch dann die Tektonik der Kalkalpen einfacher werden sollte, als sie jetzt vielfach dargestellt wird, so dürfte das kein Nachteil sein.

Bezüglich der Tiefe dieses Mittelmeeres können heute noch nicht viel sichere Angaben gemacht werden. Für die Korallenriffe sind die Tiefen ja ohne weiteres festgelegt und die in Jura und Unterkreide stark zurücktretende Beteiligung von Riffgesteinen läßt wohl auch schließen, daß im allgemeinen nach der Trias Vertiefung des Meeres erfolgte. Die Vertiefung konnte aber nicht überall die gleiche Wirkung erzeugen: Litoralzonen lassen

sich auch jetzt noch feststellen, die durch die Riffe geschaffenen Höhenunterschiede machten sich längere Zeit noch geltend und das unruhige Bodenrelief konnte wegen der verstärkten tektonischen Bewegungen nicht ausgeglichen werden. Dazu kam auch die in den einzelnen Teilen verschieden starke Sedimentation, je nach der Beschaffenheit des Nährgebietes und der Entfernung von einem solchen.

Alle diese Umstände wirkten in den einzelnen Zeitabschnitten in verschiedenem Maße zusammen — ihr Ergebnis sind die Sedimentgesteine der Kalkalpen —, aus ihnen im einzelnen die Bildungsumstände zu entziffern, ist Aufgabe der nächsten Zeit.
