

Das Mesozoikum der Nördlichen Kalkalpen als Beispiel eines gerichteten Sedimentationsverlaufes infolge fortschreitender Krustenausdünnung

Von RICHARD LEIN*)

Mit 4 Abbildungen

*Nördliche Kalkalpen
Sedimentation
Stratigraphie
Tektonik
Paläogeographie*

Inhalt

Zusammenfassung, Summary	117
1. Einleitung	117
2. Die Kalkalpen aus plattentektonischer Sicht	118
2.1. Bisherige Vorstellungen zur kalkalpinen Sedimentationsdynamik	118
2.2. Tektonischer Rahmen	118
2.3. Mechanismus und Ablauf	119
3. Sedimentation und Krustenausdünnung zur Zeit der Trias	119
3.1. Graben- und Riftstadium mit siliziklastischen Rotschichten	119
3.2. Erste Phase der Flachwasser-Karbonate (Mitteltrias)	120
3.3. Zweite Phase der Flachwasser-Karbonate (Obertrias)	122
4. Ausblick	125
Literatur	126

Zusammenfassung

Das Sedimentationsgeschehen des kalkalpinen Mesozoikums wird vielfach bis in den Oberjura hinein von plattentektonischen Vorgängen geprägt, welche u. a. in der Krustenausdünnung des Sockels zum Ausdruck kommen, wodurch maßgeblich das Subsidenzgeschehen bestimmt wird.

Der kalkalpine Sedimentationsablauf stellt einen gerichteten Prozeß dar, der dieselbe Abfolge irreversibler Entwicklungsschritte aufweist, welche sonst für Sedimentabfolgen passiver Kontinentalränder charakteristisch ist.

Die zwischen Oberperm und Oberjura abgelagerte Sedimentsequenz der kalkalpinen Schichtfolge wird als ein Wilson-Zyklus interpretiert.

Summary

The sedimentation history in the Northern Calcareous Alps during Mesozoic time is frequently dominated by plate tectonic processes which are reflected by thinning of the basement; subsidence is mainly governed by this process.

Sedimentation in the Northern Calcareous Alps shows a unidirectional evolution, governed by the same sequence of irreversible steps otherwise characteristic for sedimentary sequences of a passive continental margin.

A part of the sequence of the Northern Calcareous Alps (Lower Permian–Upper Jurassic) is thought to represent a Wilson cycle.

1. Einleitung

Der erst in den letzten Dekaden intensiv vorangetriebenen Erforschung der Entstehungsgeschichte junger Ozeane und ihrer Ablagerungen verdanken wir die epochale Entdeckung von der erstaunlichen Regelmäßigkeit eines stets in ähnlichen Entwicklungsschritten erfolgenden Sedimentationsverlaufes im Bereich passiver Kontinentalränder. Eine ähnliche gesetzmäßige Entwicklung findet man auch in den Sedimentabfolgen der alpidischen Orogenzonen (WIEDMANN, 1983).

Ohne Zweifel wird das Ablagerungsgeschehen auch im Falle dieser genannten, räumlich und zeitlich weit auseinander liegenden Beispiele vor allem durch das Zusammenwirken von Subsidenz, Eustasie und synsedimentärer Tektonik beeinflusst, wobei alle diese Erscheinungen auf den Vorgang eines Ausdünnens der unter der jungen Sedimentbedeckung entwickelten kontinentalen Kruste zurückzuführen sind. Die Ursachen für den gerichteten Verlauf dieses endogenen Geschehens sind allerdings nicht vollständig geklärt.

Die Vorstellung einer weitgehenden Entsprechung der Mechanik, welche für den auffallend ähnlichen Sedimentationsverlauf sowohl im Bereich des atlantischen Kontinentalrandes als auch innerhalb der alpidischen Orogenzone verantwortlich ist, erfährt vor allem dann eine eindrucksvolle Bestätigung, wenn man die Mesozoikumsentwicklung der Nördlichen Kalkalpen in diese Überlegungen mit einbezieht und diese als Musterbeispiele alpidischer Sedimentationsdynamik begreift.

*) Anschrift des Verfassers: Dr. RICHARD LEIN, Institut für Geologie der Universität Wien, Universitätsstraße 7, A-1010 Wien.

Die folgenden Beiträge dieses Bandes sind dem speziellen Aspekt der ostalpinen Triasvererzung gewidmet. Die vorliegende Arbeit versteht sich als allgemeine Einführung in die Entwicklungsgeschichte dieser Region.

2. Die Kalkalpen aus plattentektonischer Sicht

2.1. Bisherige Vorstellungen zur kalkalpinen Sedimentationsdynamik

Die faziellen Besonderheiten des Mesozoikums der Nördlichen Kalkalpen, die mächtigen Plattformkarbonate der Mittel- und Obertrias sowie die pelagische Hallstätter Entwicklung wurden schon immer als die hervorragendsten Wesenszüge des Ostalpins gewertet. Einem Wandel unterworfen war bloß die Deutung der Ursachen dieser faziellen Eigenständigkeit.

Lange Zeit galten die Sedimente der Nördlichen Kalkalpen völlig zu Unrecht als miogeosynklinale Bildungen; von ZANKL (1967: 137) wurde ihnen sogar jedweder Geosynklinalcharakter abgesprochen.

Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, daß die Bezeichnung "Geosynklinale" im Laufe ihres Gebrauches einem mehrfachen Bedeutungswandel¹⁾ unterworfen war und – je nach Autor – entweder der Sedimentmächtigkeit (Subsidenz) oder dem Faktor Bathymetrie bzw. dem Auftreten von basischem Vulkanismus eine besondere Bedeutung beigemessen wurde.

Im Sinne von HAUG (1900), der die geosynklinale Sedimentation begrifflich in größere Tiefen verlegte, kann dem kalkalpinen Seichtwasserschelf der Obertrias tatsächlich kaum ein Geosynklinalcharakter eingeräumt werden. Auch fehlt in den Kalkalpen der von STILLE (1924) als weiteres geosynklinales Charakterisierungsmerkmal eingesetzte basische Initialvulkanismus weitgehend. Doch dabei darf man nicht übersehen, daß mit einem derart eingegrenzten Begriffsinventar die Besonderheiten der Nordalpinen Fazies nicht in ihrer wahren Bedeutung erfaßt werden können.

Diesem Umstand hat TOLLMANN (1968: 214) insofern frühzeitig Rechnung zu tragen versucht, als er zur besonderen Charakterisierung des Ablagerungsraumes der Nördlichen Kalkalpen den Terminus „Aristogeosynklinale“ einführt und für diesen Begriff als Hauptmerkmal „die kräftige Subsidenz im frühen Geosynklinalstadium“ herausgestrichen hat.

In weiterer Folge hat TOLLMANN (1978: 305–307, Abb. 3; 1980: 40) die bedeutende Mächtigkeit kalkalpiner Sedimentfolgen, welche auf ein rasches Absinken des Untergrundes zurückzuführen ist, mit einem bereits im frühen Geosynklinalstadium einsetzenden Ausdünnen der kontinentalen Kruste in Zusammenhang gebracht und plattentektonische Prozesse als Verursacher dieses Geschehens vermutet.

Auf die Kontinentalrandposition des kalkalpinen Sedimentationsraumes und auf den Zusammenhang zwischen der ausgeprägten synsedimentären Tektonik dieses Bereiches (= „labiler Schelf“) und beginnender Ozeanbildung hatten zuvor schon BECHSTÄDT et al. (1976, 1978) aufmerksam gemacht.

¹⁾ Ausführliche Darstellung der Entwicklung des Geosynklinalbegriffes bei BECHSTÄDT et al. (1976: 638ff.).

SCHLAGER & SCHÖLLNERGER (1975) verdanken wir schließlich die aus einer Neuinterpretation kalkalpiner Abfolgen entwickelte Erkenntnis, daß bestimmte Umstellungen im Sedimentationsverlauf (= „Stratigraphische Wenden“) einen irreversiblen Vorgang darstellen.

In Verbindung mit rezentgeologischen Beobachtungen verdichten sich die erwähnten Gedanken zu einem neuen Bild, in welchem die Sedimentationsdynamik des kalkalpinen Mesozoikums als ein von plattentektonischen Vorgängen gesteuerter kausaler Ablauf verstanden wird.

2.2. Tektonischer Rahmen

Zur Zeit der Trias lag der Ablagerungsbereich der Nördlichen Kalkalpen im Randbereich eines Schelfareales, welches den Tethysozean randlich flankierte. Hinsichtlich dieses Sachverhaltes (z. B. FRISCH, 1977: Abb. 1) herrscht heute weitgehende Übereinstimmung. Im Detail umstritten ist dagegen die Art der räumlichen Konfiguration auf diesem Schelfareal, wobei vor allem die Frage im Vordergrund steht, welche räumliche Position die Nördlichen Kalkalpen und die Südalpen zueinander und beide zusammen gegenüber dem Tethysozean eingenommen haben.

Die Vorstellung eines direkten primären Zusammenhanges zwischen dem nordalpinen und dem südalpinen Faziesraum, wie sie beispielsweise noch von KOBER (1914: Abb. 3) und TOLLMANN (1963, Abb. 13) vertreten wurde, ist heute weitgehend aufgegeben. Statt dessen steht nun zur Diskussion, ob zwischen diesen beiden Faziesbereichen eine von einer geringmächtigen Schwellenentwicklung bedeckte kristalline Hochzone ausgebildet war (DIETRICH, 1976: Abb. 4a; BRANDNER, 1984: 439, Abb. 2), oder ob dazwischen ein Bereich mit stark ausgedünnter kontinentaler, eventuell sogar ozeanischer Kruste lag und die Nördlichen Kalkalpen und die Südalpen die gegenüberliegenden Flanken eines im ostalpinen Bereich endigenden Astes der Tethys darstellten (PREY, 1978: Abb. 1; KOVACS, 1982: Abb. 3).

Wir bevorzugen die zuletzt genannte Version, ohne die Diskussion in dieser Kernfrage für abgeschlossen zu halten.

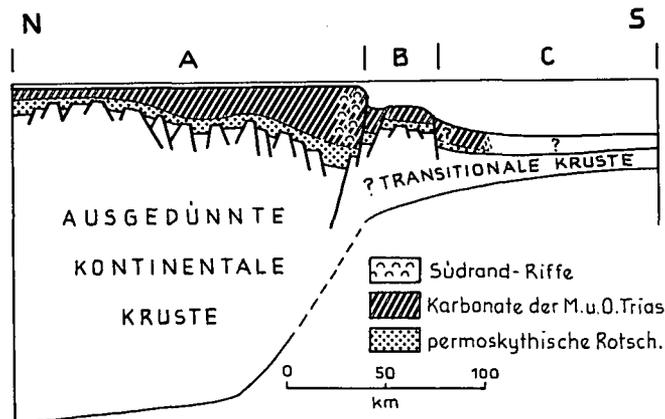


Abb. 1: Schematischer Schnitt durch den Ablagerungsraum der Nördlichen Kalkalpen zur Zeit der Obertrias (Vertikalmaßstab nicht linear). Der kalkalpine Sedimentstapel wurde im Bereich eines passiven Kontinentalrandes über ausdünnender Kruste abgelagert.

A = Kalkalpiner Seichtwasser-Schelf (Kalkvorlpin und Nordjuvavikum); B = Tiefwasser-Schelf in Hallstätter Entwicklung (Südujavikum); C = hypothetischer Tiefwasserbereich.

Der Sedimentationsraum der kalkalpinen Trias setzte sich aus zwei verschiedenen aufgebauten Bereichen zusammen: Im Norden lag ein auf ausgedünnter Kruste situierter Seichtwasser-Schelf, dessen Sedimentmächtigkeit nach Süden hin deutlich zunahm (Abb. 1). Dieser Teil ist heute in den Kalkvoralpen und im Nordjuvavikum überliefert. Über einem dünnen Krustensegment unbestimmter stofflicher Zusammensetzung folgte daran anschließend ein Tiefwasser-Schelf, auf welchem die Gesteine der Hallstätter Zone abgelagert wurden.

An diese Region dürfte sich vermutlich ein z. T. mit ozeanischer Kruste ausgestatteter bathyalen Bereich angeschlossen haben, welcher zwar nicht in den Ostalpen, wohl aber – zumindest in Fragmenten – in den Westkarpathen überliefert ist (RETI, 1984).

Der in den Kalkalpen überlieferte Teil dieses Seichtwasserschelfes dürfte in seiner ursprünglichen Breite kaum den Betrag von 200 km überschritten haben. Über die Dimension des Tiefwasser-Schelfes und des möglicherweise daran angrenzenden ozeanischen Bereiches können keine Angaben gemacht werden.

Von großer struktureller Bedeutung scheint die auffallende Tatsache zu sein, daß jene Rifffront, welche das Seichtwasser-Areal gegen den Tiefwasser-Schelf abgrenzte, über mehr als 20 Mio. J. auf derselben Stelle verharrte. Diese Erscheinung der räumlichen Konstanz von Riffbarrieren über längere Zeiträume hinweg ist auf passiven Kontinentalrändern häufig anzutreffen.

Derartig langlebige stationäre Rifffronten sind dort nicht an beliebige größere Sockelsprünge des Untergrundes gebunden, sondern an bedeutende, im Grenzbereich zwischen ausdünnender kontinentaler und transitorischer Kruste angesiedelte Suturen. Eine ähnlich bedeutende Zäsur in der stofflichen Zusammensetzung der Kruste wird auch im Untergrund jenes morphologisch ausgeprägten Grenzbereiches zwischen der kalkvoralpinen Seichtwasser-Plattform und dem Hallstätter Tiefwasser-Schelf vermutet.

2.3. Mechanismus und Ablauf

Weitgehende Einhelligkeit herrscht heute auch darüber, daß die Anlage des kalkalpinen Sedimentationsbeckens einer bereits variszisch vorgezeichneten Schwachzone folgte und die weitere Sedimentakkumulation in diesem Raum im wesentlichen von einem seit dem Jungpaläozoikum ablaufenden Prozeß fortschreitender Krustenausdünnung beeinflusst wurde. Auch über die einzelnen Etappen dieses Geschehens – vom Stadium der siliziklastischen Rotschichten über das Stadium der Flachwasser-Karbonate bis hin zum Stadium der Tiefwasser-Karbonate und zum Einsetzen obermalischer Gleittektonik – herrscht kein Zweifel. Unterschiedliche Auffassungen bestehen dagegen hinsichtlich der Interpretation und Zuordnung dieses phasenhaften Geschehens.

Vor allem bereitet die Tatsache Schwierigkeiten, daß der in die Mitteltrias fallende Höhepunkt plattentektonischer Aktivität, der sich augenfällig in Form beschleunigter Subsidenz und vulkanischer Tätigkeit äußert, in dieser Weise keine Fortsetzung in der Obertrias findet. Nach BECHSTÄDT et al. (1978) käme der Rifting-Prozeß Ende Mitteltrias vorzeitig zum Erliegen („aborted rifting“). Die im Jura erfolgte weitere Eintiefung des Ablagerungsraumes wird von diesen Autoren als ein getrenntes Ereignis verstanden, das mit der Öffnung des

südpenninischen Ozeans zusammenhing und sich in einer Verlagerung der Senkungszone in externe Bereiche äußerte (BECHSTÄDT et al., 1978: 172; BRANDNER, 1978: 452, 459).

Im Gegensatz zu dieser Auffassung wird von uns der ganze Sedimentationsprozeß der Kalkalpen – vom Anbeginn bis zum Einsetzen der Gleittektonik im tiefen Malm – als ein folgerichtig ablaufender geschlossener Prozeß angesehen, der einem kompletten Wilson-Zyklus entspricht.

3. Sedimentation und Krustenausdünnung zur Zeit der Trias

3.1. Graben- und Riftstadium mit siliziklastischen Rotschichten (Perm–Skyth)

Nach detaillierten sedimentologischen Untersuchungen in der siliziklastisch ausgebildeten Basalentwicklung des Kalkalpines (HADITSCH & MOSTLER, 1982; MOSTLER, 1972 a,b; NIEDERMAYER & SCHERIAU-NIEDERMAYER, 1982; THIEDIG & CHAIR, 1975) konnte in den letzten Jahren trotz des in diesen Serien herrschenden Mangels an stratigraphisch brauchbaren Fossilien, eine Gliederung erarbeitet werden, die sich auch über weite Distanzen hinweg überraschend gut korrelieren läßt. Wichtige faziesbrechende Leithorizonte dieser Gliederung sind vor allem im tieferen Niveau der klastischen Permoskythabfolge entwickelt, und zwar nahe der Basis in der Form einer Einschaltung von polymikten Quarzkonglomeraten (auf deren stratigraphisch überregionale Bedeutung u. a. jüngst HESS & ROSSNER [1984] hingewiesen hat), sowie im höheren Unterrotliegend in Form einer Serie mit Tuffen und Tuffiten des Quarzporphyrvulkanismus.

Durch die stetige Auffüllung der intramontanen Senken mit lokalem Verwitterungsschutt nahm die Reliefenergie des schüttenden Hinterlandes wohl generell vom Liegenden ins Hangende ab (NIEDERMAYER & SCHERIAU-NIEDERMAYER, 1982: 35), doch gelang es vielfach nicht, bestehende Reliefunterschiede zu egalisieren, was als Hinweis dafür angesehen werden muß, daß der variszisch konsolidierte Untergrund zu diesem Zeitpunkt nicht mehr als eine starre Platte wirkte, sondern sich die beginnende Ausdünnung der Kruste bereits durch lokal erhöhte Subsidenz reliefprägend bis zur Oberfläche durchpauste. Die oben erwähnten, weit hin verfolgbar lithologischen Leithorizonte der basalen Serie sind ebenso Zeugen einer großräumig einsetzenden ruckartigen tektonischen Aktivierung, wie auch die von STINGL (1983: 230, Abb. 9) in den Präbichschichten bei Leogang festgestellte „fining-upward“-Megazyklik.

Eine Intensivierung der gerichteten bruchtektonischen Zerlegung und partiellen Absenkung des Untergrundes ermöglichte schließlich im höheren Perm ein endgültiges Vordringen des Meeres²⁾ entlang einer aufbrechen-

²⁾ Bereits im tieferen Perm soll nach der Meinung verschiedener Autoren eine zumindest temporäre marine Beeinflussung von Teilen des Ablagerungsraumes vorgelegen haben; u. a. wird eine solche von TOLLMANN (1976: 39) für die Fellersbach- und Mitterberger Schichten im Raum von Dienten und Bischofshofen, von HESS & ROSSNER (1984) für den höheren Teil der Salberg-Serie bei Liezen und von NIEDERMAYER & SCHE-

den Sutor (Rift Valley-Stadium). Beiderseits eines solchen sich stetig erweiternden marginalen Aulacogens (sensu DICKINSON, 1974: Abb. 9, 1976: 14) wurden in marin beeinflussten Randsenken mächtige Evaporitfolgen (Haselgebirge s. l.³⁾) abgelagert, während auf den Hochschollen die Sedimentation siliziklastischer Serien (Alpiner Verrucano) andauerte, oder aber, wie es NIEDERMAYER & SCHERIAU-NIEDERMAYER (1982: 41) für den westlichen Drauzug wahrscheinlich machen konnten, eine Sedimentationsunterbrechung stattfand.

Der oft mit oberpermischen Salinarabfolgen verknüpfte basische Vulkanismus stellt ein weiteres Kennzeichen dieser Periode dar. Das gemeinsame Auftreten von Serpentin, Pillowlaven und gangförmig intrudierten Basalten läßt diese Gesteine als Teile einer Ophiolitabfolge erscheinen (KIRCHNER, 1980: 394); eine Entstehung am Kontinentalrand wäre gleichfalls denkbar.

Sowohl der alkaline Vulkanismus als auch die mächtigen Salinarabfolgen werden von uns als Kennzeichen eines frühen Riftstadiums (Typ Rotes Meer) angesehen. In diesem Zusammenhang sei daran erinnert, daß auch die im Randbereich des Atlantischen Ozeans auftretenden mächtigen evaporitischen Serien einem der Phase des kontinentalen Auseinanderdriftens vorausgegangenen frühen Grabenstadium zugeordnet werden können (PAUTOT et al., 1970; KINSMAN, 1975; u. a.).

3.2. Erste Periode der Flachwasser-Karbonate (Mitteltrias)

Zu Beginn der Mitteltrias erfolgte auf der weitgehend eingeebneten alpinen Schelfplattform die entscheidende Umstellung von siliziklastischer zu karbonatischer Sedimentation (= Reichenhaller Wende). Mit diesem irreversiblen Wechsel endet die Periode der terrestrischen Rotsedimente und beginnt das Stadium der für die Trias der Nördlichen Kalkalpen so charakteristischen Flachwasser-Karbonate.

Vermutlich im Zusammenhang mit dem von SCHLAGER & SCHÖLLBERGER (1975: 185) für möglich erachteten Aufbrechen von kontinentaler Kruste erfolgte nun ein weiteres Vordringen des Ozeans sowie die teilweise

RIAU-NIEDERMAYER (1982: 38) für die Laaser Schichten des westlichen Drauzuges angenommen. Im Gegensatz dazu vermutet STINGL (1983: 224), daß die verschiedentlich im Sediment auftretenden Anzeichen erhöhter Salinität ihre Entstehung nicht einem marinen Bildungsraum, sondern einem Sabkha-ähnlichen Milieu (Inlandwannen) verdanken.

³⁾ Für den Mittel- und Ostabschnitt der Nördlichen Kalkalpen dürfen wir die Existenz von zumindest zwei hintereinander angeordneten Salinarbecken annehmen, die von einer zwischen geschalteten, subaerisch exponierten Hochzone (= Prebichlschwelle) getrennt waren (TOLLMANN, 1972: Abb. 1). Ein genaueres paläogeographisches Bild dieser Zeit zu zeichnen fällt schwer, angesichts der weitgehenden Verhüllung der kalkalpinen oberpermischen Basis durch die überlagernden jüngeren Serien.

Da aber die damalige Faziesverteilung im wesentlichen durch ein bruchtektonisches Geschehen kontrolliert wurde, das mit dem Vorgang der fortschreitenden Krustenausdünnung kausal verknüpft erscheint, werden auch die Hauptfaziesgrenzen vermutlich parallel zu dem vom Rifting vorgegebenen tektonischen Lineament verlaufen sein. Auch aus diesem Grund ist das von ERKAN (1976: Abb. 3) für das kalkalpine Oberperm entwickelte paläogeographische Bild mit in N-S-Richtung erstreckten (= senkrecht zur Riftachse streichenden!) Salinartrögen im höchsten Grade unwahrscheinlich.

mit vulkanischer Tätigkeit verbundene Intensivierung des bruchtektonischen Geschehens im Bereich der flankierenden Schelfareale.

Das mit einem Vordringen offen mariner Verhältnisse verbundene Zerbrechen des skythisch/unteranisischen Schelfes setzte bereits im Pelson ein. Ab diesem Zeitpunkt treten in kalkalpinen Serien erstmals Radiolarien auf (DONOFRIO & MOSTLER, 1978: 7) und beginnen sich Riffe zu etablieren (FLÜGEL, 1982).

Den sichtbaren Höhepunkt der fortschreitenden Öffnung des Tethysozeans markiert allerdings die Reiflinger Wende im Oberanis. Über seichten Gesteinen verschiedener Fazies und Bildungstiefe setzen nun plötzlich weiträumig tiefer-marine Hornsteinkalke mit Tuffiten ein (SCHLAGER & SCHÖLLBERGER, 1975: 169).

Durch Absenkung des Plattformrandes erfolgte ebenfalls zu dieser Zeit die Herausbildung eines Tiefwasser-Schelfes, auf welchem die Gesteine der Hallstätter Zone abgelagert wurden. Durch beständiges Niederbiegen der Plattformränder in Form von Großflexuren kam es – zunächst bis ins höhere Ladin anhaltend – zu einer fortgesetzten Ausweitung dieses Ablagerungsraumes. Der tiefer-marine Charakter dieses Bereiches blieb ohne Unterbrechung bis in den Oberjura hinein gewahrt.

Im Bereich des Seichtwasser-Schelfes wurde die Sedimentation wesentlich vom mehrfachen Wechsel von Phasen tektonischer Aktivitäten mit solchen der Ruhe geprägt. Die durch schlagartig einsetzende Bruchtektonik bewirkte schollenartige Zerlegung und Gliederung der Seichtwasser-Plattform in Hochzonen und Becken wurde zumeist in Perioden tektonischer Inaktivität durch Wiederauffüllen der Beckenbereiche rasch wieder egalisiert. In der Mitteltrias des Drauzuges wiederholte sich dieser Vorgang zweimal (BECHSTÄDT et al., 1976: Abb. 5 und 7).

Der enorme Mächtigkeitsunterschied zwischen zeitgleichen Plattform- und Beckensedimenten, auf den SARNTHEIN (1967: Abb. 3) erstmals deutlich verwiesen hat, stellt eine weitere charakteristische Eigenschaft der kalkalpinen Mitteltrias dar. Hohe Subsidenzraten im Bereich der Seichtwasser-Plattformen, den Zentren der Karbonatproduktion, sowie ein die Plattformen säumender dichter Riffkranz, der als Transportbarriere wirkte und dafür sorgte, daß der auf den Plattformen erzeugte Karbonatschlamm auch dort verblieb (vgl. SCHLAGER, 1981: Abb. 3), stellen die beiden Hauptursachen der ungleichmäßigen Sedimentverteilung dar.

Plattformen und Becken im Bereich des Seichtwasser-Schelfes unterschieden sich jedoch nicht nur hinsichtlich ihrer deutlich voneinander abweichenden Ablagerungsraten, sondern auch bezüglich ihres unterschiedlichen Subsidenzverhaltens. Mittels synsedimentärer Bruchtektonik wurden die Beckenbereiche frühzeitig von den rasch absinkenden Plattformen abgekoppelt. Auf diese Weise konnten die Becken trotz ihrer geringen Sedimentationsraten gleichbleibende Wasser-tiefen bewahren.

Die Abkoppelung des Hallstätter Tiefwasser-Schelfes von der Schelfplattform erfolgte in ähnlicher Weise; dieser Vorgang ist in allen seinen Phasen bestens dokumentiert.

Zunächst konnten die unterschiedlichen Sedimentations- und Absenkungsraten dieser beiden Bereiche noch mittels größerer Flexuren überbrückt werden (Abb. 2/1). Im Spannungsfeld unterschiedlicher Subsidenz kam es schließlich zur Bildung von Internbrekzien

und zur Entstehung engständiger Dehnungsfugen (vgl. SCHÄFFER, 1971: Abb. 53; NOWY & LEIN, 1984: Taf. 6). Alle diese Erscheinungen gleichen im Detail jenen von FÜCHTBAUER & RICHTER (1983: Abb. 4) aus der Trias von Hydra (Griechenland) beschriebenen Bildern.

Vermutlich im mittleren bis höheren Ladin erfolgte die endgültige bruchtektonische Abtrennung (Abb. 2/2). Im Gefolge dieses Geschehens kam es im Randbereich

gegen die Seichtwasser-Plattform zur Herausbildung eines faziell eigenständigen (Graukalk-Fazies), rasch absinkenden Troges, der als Sedimentfalle wirkte und den gesamten vom Plattformrand kommenden Schutt, wie auch die in Kanälen über die Plattform hinweg transportierte terrigene Feinfracht aufnahm.

An diese hochmobile Zone schloß gegen den offenen Ozean ein Hochplateau an, dessen Oberflächenform

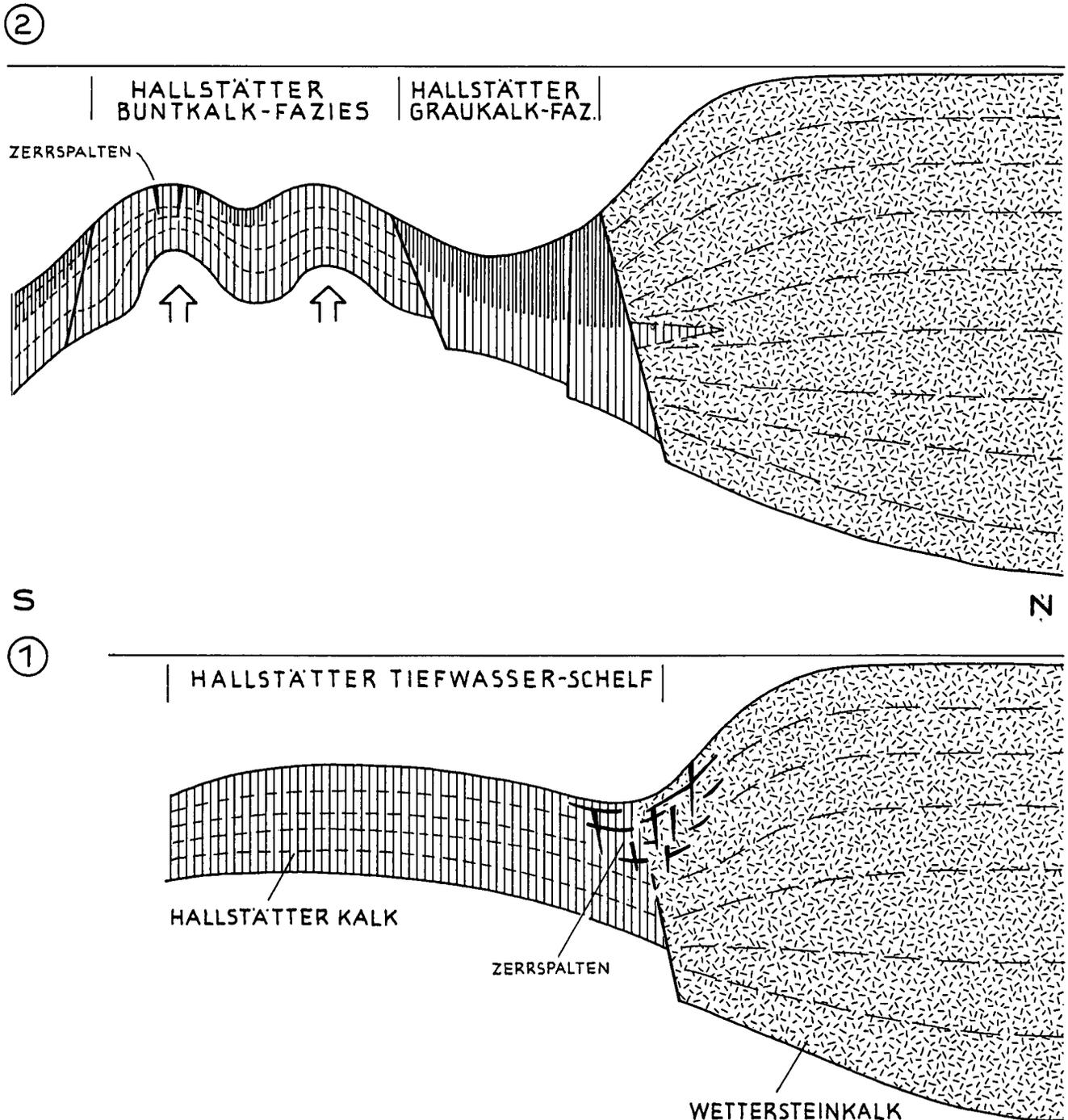


Abb. 2: Vermutete Konfiguration des kalkalpinen Schelfrandes zur Zeit des Ladin (Darstellung nicht maßstabsgetreu; die Unterkante des dargestellten Sedimentstreifens entspricht etwa der Basis des Oberanis).

- 1) Stadium Unterladin: Herausbildung eines Tiefwasser-Schelfbereiches. Die unterschiedlichen Akkumulationsraten zwischen der Seichtwasser-Plattform und dem Tiefwasser-Schelf werden mittels Großflexuren und beginnender Bruchverformung überbrückt.
- 2) Stadium Oberladin: Bruchtektonische Abkoppelung der Hallstätter-Zone von der Seichtwasser-Plattform. Zwischen der Plattform und den Tiefschwellen-Bereichen mit Mangersedimentation (= Hallstätter Buntkalkfazies) entsteht ein faziell eigenständiger (= Hallstätter Graukalkfazies), rasch absinkender Trog, der als Sedimentfänger fungiert.

Weitständige Schraffen = Hallstätter Buntkalk; engständige Schraffen = Hallstätter Graukalk; Pfeile = Haselgebirgs-Diapirismus.

wesentlich von der beginnenden Salzkissenbildung⁴⁾ im Untergrund bestimmt wurde.

Die weitere, wesentlich vom Salzauftrieb bestimmte morphologische Ausgestaltung dieses Raumes dürfte letztlich zu Erscheinungen geführt haben, die im Detail jenen Strukturen im Bereich rezenter Kontinentalränder gleichen (vgl. TRUSHEIM, 1974: Abb. 19, 20). Vorstellbar ist, daß es ähnlich wie dort zur Bildung beckenparallel angeordneter Wulstfalten-Stränge kam, auf deren Rücken Mangelsedimentation herrschte (= Bereiche mit Hallstätter Buntkalk-Fazies).

An diesen Tiefwasser-Schelf könnte sich noch eine bathyale Zone unbekannter Breite angeschlossen haben, von der zumindest in den Westkarpaten (u. a. Meliata-Einheit) noch Reste anzutreffen sind. In diesem Zusammenhang ist vor allem auf eine jüngst in Nordungarn erbohrte Abfolge hinzuweisen, die sich aus ladinischen Hornsteinkalken bzw. Radiolariten und zwischen geschalteten Serpentiniten, Gabbros und Pillow-Basalten zusammensetzt. Für letztere konnte durch K/Ar-Datierung ebenfalls ein mitteltriadisches Alter nachgewiesen werden (RETI, 1984).

In beschränktem Umfang könnte es zu dieser Zeit auch im ostalpinen Raum zur Bildung ozeanischer Kruste gekommen sein.

Die Schelfkante, die Grenze gegen den vermutlich anschließenden bathylen Hangbereich, folgte vermutlich einer tektonischen Vorzeichnung. Im Untergrund dieses Bereiches ist die Position jener lithosphärischen Fehlstelle zu vermuten, die in weiterer Folge zur Bildung konvergenter Plattengrenzen und zu der Schließung des Ozeans im Oberjura geführt haben könnte (vgl. dazu CLOETINGH et al., 1984).

Zusammenfassend kann für die kalkalpine Mitteltrias gesagt werden, daß die starke Mobilität des Untergrundes, die sich u. a. in intensiver synsedimentärer Bruchtektonik äußerte, auch weitgehend die Faziesgrenzen des Ablagerungsraumes bestimmte. Dabei ist allerdings zu bedenken, daß der Vorgang der Absenkung nicht kontinuierlich, sondern teilweise ruckartig verlief, was in manchen Bereichen (vor allem auf den Seichtwasserplattformen) zu einer Sedimentationsunterbrechung führen konnte. Ähnlich wie in den Südalpen (vgl. BOSELLINI & ROSSI, 1974) dürfte auch in den Nördlichen Kalkalpen das Ablagerungsgeschehen der Plattformen und Becken nicht immer absolut synchron gewesen sein (BRANDNER, 1978: 325).

Neben der erwähnten phasenhaft wirkenden Bruchtektonik beeinflussten vor allem tektonoeustatische

⁴⁾ Die halokinetische Mobilisierung der oberpermischen Haselgebirgsformation erfolgte nachweislich frühzeitig, als der lithostratigraphische Druck erst im Bereich der Untergrenze der in der Literatur geforderten Werte (TRUSHEIM, 1957) lag. Jüngere Beobachtungen (JARITZ, 1973: 3, 10; JACKSON & SENI, 1983) belegen allerdings auch Beispiele einer frühzeitigen Mobilisierung des Salinarkörpers bei sehr geringer Deckgebirgsauflast (200–400 m).

Hauptverantwortlich für die frühe Mobilisierung des alpinen Salinarkörpers war vor allem die extrem unterschiedliche Sedimentauflast, die auf das Haselgebirge einwirkte. Sie führte zu einer Migration der unter dem Rand der mächtigen hochalpinen Seichtwasser-Plattform begrabenen Evaporite in Bereiche mit geringerer Überlagerung (= Hallstätter Zone). Begünstigt wurde dieser Vorgang durch die wohl nicht unbeträchtliche Neigung (>3°) der Basisfläche und durch synsedimentäre Bruchtektonik im Deckgebirge.

Meeresspiegelschwankungen⁵⁾ den Ablagerungsrhythmus. Die zumeist innerhalb enger Zeitspannen auftretenden Kalkturbidite (z. B. Annaberger Kalk, Grafensteigkalk, Raminger Kalk) dürfte die sedimentologische Antwort auf derartige Spiegelschwankungen dargestellt haben.

3.3. Zweite Phase der Flachwasser-Karbonate

Mit der zeitweiligen Unterbrechung der Karbonatproduktion und dem Wiedereinsetzen siliziklastisch beeinflusster Sedimente im tieferen Karn (= Reingrabener Wende) endete das Stadium der mitteltriadischen Flachwasser-Karbonate.

Aber nicht dieser bloß kurz andauernde Fazieswechsel stellt das eigentliche Ereignis dar. Die wahre Bedeutung der Reingrabener Wende liegt vielmehr in der grundlegenden Änderung des allgemeinen Subsidenzverhaltens.

Zunächst fällt auf, daß in der Obertrias anstelle der kleinräumigen Faziesverteilung, deren Verlauf weitgehend von synsedimentärer Bruchtektonik kontrolliert wurde, eine uniforme Plattform-Entwicklung trat. Weiters erfolgte eine Umkehr des lokalen Subsidenzverhaltens, indem – im Gegensatz zur Mitteltrias – die größten Sedimentmengen nicht mehr ausschließlich im Bereich der morphologischen Hochzonen akkumuliert wurden, sondern in Senken (s. Abb. 3).

Karn

Bestimmend für den großräumigen Fazieswechsel der Reingrabener Wende waren zwei Faktoren: Die plötzliche Unterbrechung der Karbonatproduktion Wende Cordevol / Jul war das Ergebnis einer sehr rasch erfolgten Absenkung des Meeresspiegels (= „Frühkarnische Regression“). Die zur Bereitstellung größerer Mengen siliziklastischen Materials erforderliche Reliefverjüngung im kristallinen Hinterland sowie die Öffnung (bzw. spätere Unterbrechung) entsprechender Zufuhrkanäle für die Einspeisung dieses Materials in den alpinen Seichtwasser-Schelf ist dagegen auf rein tektonische Vorgänge zurückzuführen.

Das Zusammentreffen dieser beiden Faktoren (eustatische Spiegelschwankungen und Bruchtektonik) erfolgte nicht zufällig, vielmehr wird diese Kombination von BRANDNER (1978: 349) als ein kausal verknüpfter Vorgang verstanden, der mit der Neubildung ozeanischer Kruste im Südostabschnitt der Tethys im Zusammenhang stehen soll.

Der auf diese Weise bewirkte fazielle Umschwung stellt allerdings kein auf die Trias der Alpen beschränktes singuläres Ereignis dar. Ähnliche Vorgänge sind vielmehr auch von anderen auf passiven Kontinentalrändern aufgebauten Karbonatplattformen bekannt. U. a. berichtet WIEDMANN (1983: 19, Abb. 9D) von einem im Bereich des Kontinentalrandes vor Marokko gelegenen Beispiel, wo es in einem identen Stadium der Plattform-Entwicklung im mittleren Jura durch tektonische Aktivitäten im Hinterland in Verbindung mit eustatischen Spiegelschwankungen zur zeitweiligen Schüttung mächtiger Sandsteinkörper auf dem Karbonatschelf kam.

Zur Zeit des Karn bildeten sich am Seichtwasser-Schelf zwei Hauptfazieszonen heraus: Im Norden erstreckte sich ein breiter Trog (Nordalpiner Raibler Trog), der das aus dem kontinentalen Hinterland temporär angelieferte terrigene Material fast zur Gänze auf-

⁵⁾ Bezüglich des Mechanismus dieses Vorganges siehe SHANMUGAM & MOIOLA (1984).

hing. Im Süden wurde der Seichtwasser-Schelf von einer ausgedehnten Karbonat-Plattform abgeschlossen (Abb. 3).

Diese Zonierung blieb – abgesehen von der kurzen Unterbrechung zwischen O.Karn bis M.Nor, als sich Gezeitensedimente (Hauptdolomit, gebankter Dachsteinkalk) geschlossen über den Schelf ausbreiteten – die ganze Obertrias hindurch bestimmend: U. a. stimmt das Verbreitungsgebiet der ebenfalls terrigen beeinflussten Kössener Schichten im O.Nor bis Rhät über weite Strecken mit demjenigen der Raibler Schichten überein. Auch der Grenzverlauf der späteren großtektonischen Zerlegung in eine Voralpine und Hochalpine Einheit folgte weitgehend dieser faziellen Vorzeichnung.

Die temporäre Unterbrechung bzw. Verdünnung der Karbonatsedimentation beschränkte sich bekanntlicherweise auf den Raibler Trog, während die im Süden anschließende Plattform von diesem Vorgang unbehelligt blieb. Im Randbereich des Tiefwasser-Schelfs stoßen wir allerdings in dem in Hallstätter Graukalk-Fazies ausgebildeten Randtrog (s. Abb. 2/2) erneut auf terrigen beeinflusste Sedimente (karnische Tonschiefer, Pedataschichten, Zlambachschichten).

Diese ungleichmäßige Verteilung des terrigenen Materials ist vor allem darauf zurückzuführen, daß der Raibler Trog infolge seiner hohen Subsidenz als Sedimentfalle wirkte und zudem gegen Süden hin von emergierten Hochzonen abgeschlossen war. Der Transport von terrigener Feinfracht in den Hallstätter Randtrog, der trotz dieser Konfiguration dennoch stattfand, erfolgte über schmale, die Plattform querende Kanäle (z. B. Aflenzer Trog), deren Absenkungsgeschwindigkeit deutlich höher war als jene der umgebenden Plattform (s. Abb. 3).

Oberkarn – Mittelnor

Die weitere Entwicklung ab dem höheren Karn, die Kompensation bestehender Reliefunterschiede sowie der folgende Aufbau einer geschlossenen Seichtwasser-Plattform könnte zunächst vermuten lassen, daß der Prozeß fortschreitender Krustenausdünnung im Bereich des kalkalpinen Ablagerungsraumes endgültig zum Erliegen gekommen wäre und die weitere Entwicklung von anderen Spreading-Zentren aus erfolgt sei (BECHSTÄDT et al., 1978: 172).

Bei einer solchen Betrachtungsweise werden allerdings wichtige Fakten übersehen, nämlich die zu dieser Zeit durch bruchtektonische Absenkung weiter Randbereiche des Seichtwasser-Schelfes beginnende Zerlegung der Plattform, wie auch das damit ermöglichte schrittweise Vordringen epipelagischer Verhältnisse auf dem Schelf.

Im Gegensatz zu den sehr stabilen Bedingungen im Norden war der Südrand des Seichtwasser-Schelfes einer in mehreren Phasen erfolgenden Fragmentierung unterworfen. In den östlichen Kalkhochalpen ist diese Entwicklung besonders gut dokumentiert.

Um die Wende Karn/Nor sackten dort (ebenso wie auch im Südbereich der Gemeriden) weite Teile des hochalpinen Plattformrandes ab und wurden dem Hallstätter Tiefwasser-Schelf angegliedert. In diesen abgesunkenen Bereichen wurden nun im tiefen Nor über Seichtwasserkarbonaten des Oberkarn pelagische Hallstätter Kalke in einer lokal eigenständigen Entwicklung (= Mürtaler Fazies sensu LEIN, 1982: 215) abgelagert (Abb. 4).

Kurz darauf erfolgte eine Reaktivierung der im Karn angelegten Intra-Plattform-Tröge (u. a. Aflenzer Trog), über die in weiterer Folge in zunehmenden Ausmaß pe-

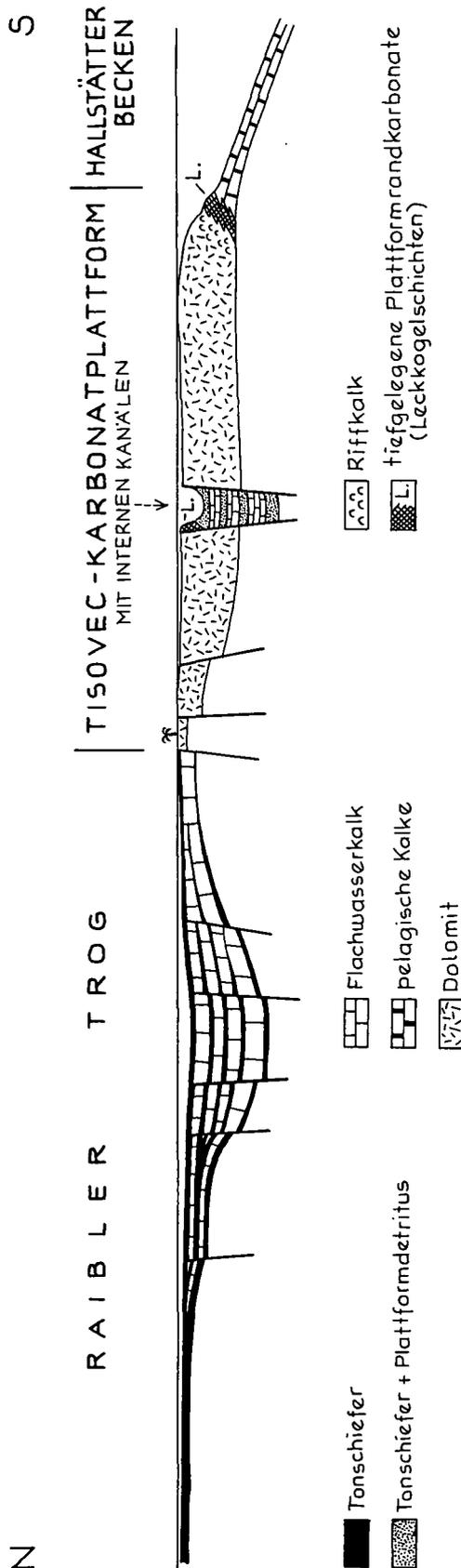


Abb. 3: Schematischer Schnitt durch den kalkalpinen Ablagerungsraum zur Zeit des höheren Karn (dargestellt ist nur der karnische Sedimentstapel). Von Norden nach Süden können drei Hauptregionen unterschieden werden: der Raibler Trog (voralpin), eine von internen Kanälen (Typ Aflenzer Trog) durchsetzte Karbonatplattform (hochalpin) und der daran anschließende Hallstätter Tiefwasser-Schelf.

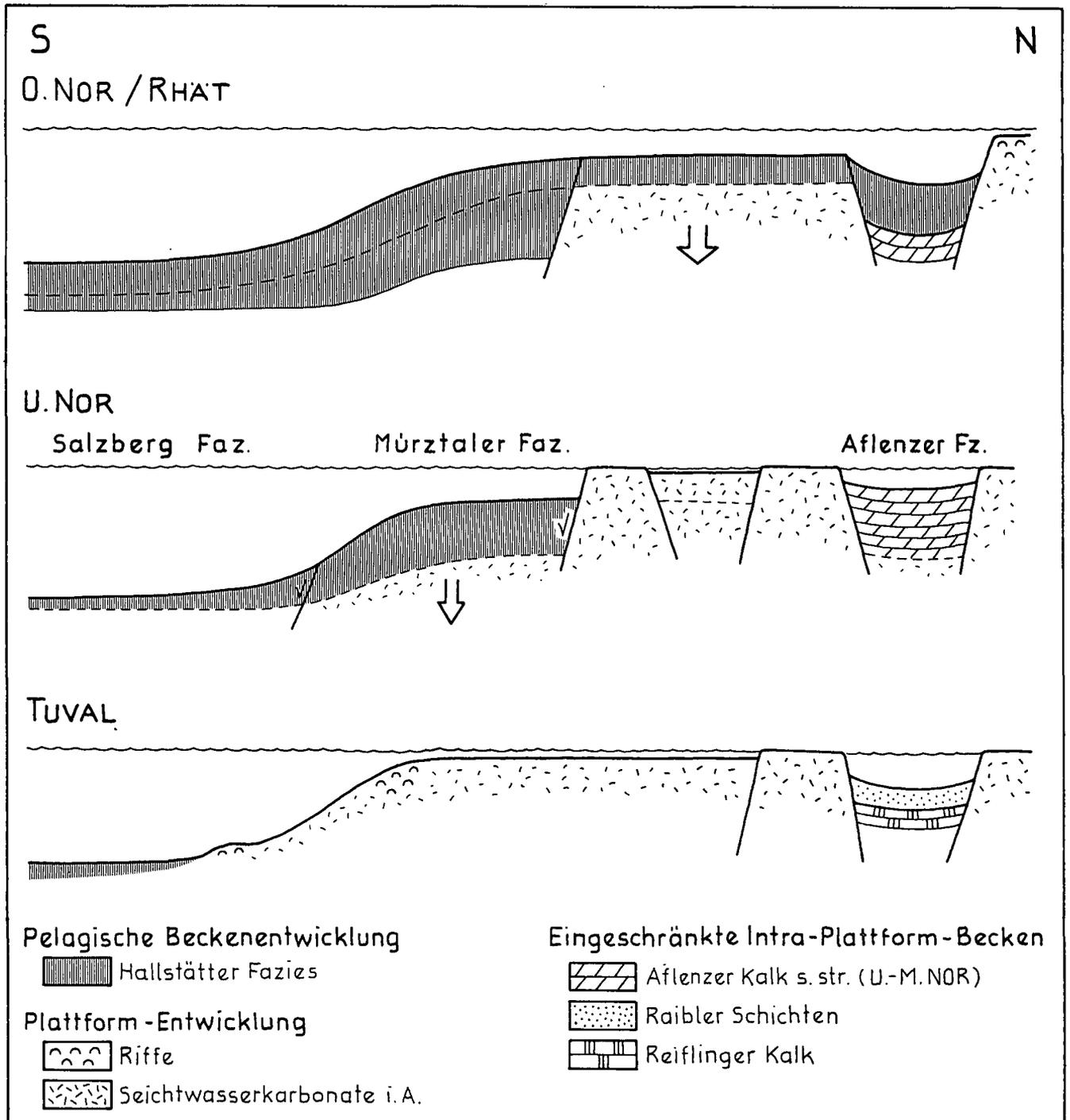


Abb. 4: Schematische Darstellung der fortschreitenden Ausbreitung der epipelagischen Hallstätter Entwicklung (dicht schraffiert) über Bereichen des ehemaligen Seichtwasser-Schelfes. In der dargestellten Reihenfolge ist diese Entwicklung nur für den Ostabschnitt der Kalkhochalpen gesichert; andernorts dürften die drei Hauptentwicklungsstadien auch zeitgleich nebeneinander ausgebildet gewesen sein.

litisches Material in die Hallstätter Tiefwasser-Schelf-Region verfrachtet wurde.

Der Vorgang der zunächst ausschließlich durch bruchtektonische Mittel bewirkten Abtiefung und Überflutung der Plattformränder wurde im höheren Nor durch ein Ansteigen des Wasserspiegels dramatisch beschleunigt. Weite Teile der Plattform (einschließlich der Intra-Plattform-Becken) wurden nun dem epipelagischen Hallstätter Faziesraum angegliedert.

Im Ostabschnitt erfolgte spätestens ab diesem Zeitpunkt eine Rückverlegung des die Seichtwasser-Plattform nach Süden hin abschließenden Riffgürtels

(Abb. 4). Eine neue Rifffront (z. B. Sauwand, Tonion) etablierte sich am Rande eines ehemaligen Intra-Plattform-Beckens (Aflenzer Trog).

Im Westen konnten sich dagegen die am südlichen Plattformrand sitzenden Riffe teilweise bis zum Rhät hinauf behaupten. Das bedeutet, daß die Entwicklung in der dargestellten Form nicht überall gleichzeitig einsetzte und die Hauptstadien der Abb. 4 nicht nur nacheinander, sondern auch nebeneinander auftraten.

Aus dem oben beschriebenen Ablauf ergeben sich einige zwingende Konsequenzen für die Beurteilung der Frage, wel-

che räumliche Position die Hallstätter Zone innerhalb des ostalpinen Ablagerungsraumes eingenommen hat.

Zunächst ist festzuhalten, daß die Hallstätter Zone keinesfalls bloß eine mehr oder weniger breite Eintiefung inmitten eines Seichtwasserschelfes darstellt, wie das beispielsweise bei BÖGEL (in ANGENHEISTER et al., 1975: Abb. 5) zum Ausdruck kommt. Vielmehr ist die Hallstätter Zone im Randbereich eines Aulacogens anzusiedeln, wo sie eine vermittelnde Stellung zwischen der Seichtwasser-Plattform und einem (? ozeanisch beeinflussten) Tiefwasserbereich einnimmt (Abb. 1 und 2).

Diese weitgehend unumstrittene Konfiguration blieb die ganze Mitteltrias hindurch gewahrt. Erst die Deutung der paläogeographischen Veränderungen der Obertrias bereitet Schwierigkeiten.

In der Obertrias dürfte die Hallstätter Zone eine über ihre mitteltriadische Ausgangsposition hinausgehende räumliche Erweiterung erfahren haben. Zumindest scheint sie in schmalen Kanälen („Hallstätter Kanäle“) weit in den nördlich anschließenden Plattform-Bereich einzugreifen (ZANKL, 1967: Abb. 2).

Dieses in der Literatur weit verbreitete paläogeographische Bild, welches auf MOJSISOVICS (1903) zurückreicht und welches seither die verschiedensten Modifikationen erfahren hat, geht allerdings von zwei falschen Grundvoraussetzungen aus: Zum einen hat sich die vermutete parautochthone Position des größten Teiles dieser weit in nördliche Plattformbereiche eingreifenden „Kanäle“ nicht bestätigen lassen (demnach ist die Hallstätter Zone im Umkreis des Grundlases, des Blühnbachtales, des Hohen Gölls und des Hüpfinger Halses aus einem Bereich südlich des Dachsteines herzuleiten; auch die Lamer-Zone hat einen größeren Transportweg zurückgelegt). Zum anderen zeigt die fazielle Entwicklung der Intra-Plattform-Becken (Typus Aflenzer Trog) den größten Teil der Obertrias hindurch überhaupt keine Affinität zur Hallstätter Entwicklung; diese Beckenbereiche wurden erst im hohen Nor im Gefolge eines Ansteigens des Wasserspiegels zusammen mit Teilen der umgebenden Plattformen dem „Hallstätter Ozean“ angegliedert.

Das in der Literatur verbreitete fixistische Bild ortsgebundener „Hallstätter Kanäle“ ist zugunsten der mobilistischen Vorstellung einer in der höheren Obertrias infolge bruchtektonischer Absenkung und eustatischer Veränderungen erfolgten allmählichen Ausweitung des Hallstätter Faziesbereiches zu ersetzen.

Zu keiner Zeit existierten mehrere räumlich voneinander getrennte Hallstätter Zonen; auch in der Obertrias gab es nur einen geschlossenen zusammenhängenden Bereich in Hallstätter Entwicklung. Für den sich in der höheren Obertrias rasch verschiebenden Grenzverlauf zwischen Hallstätter Zone und Seichtwasser-Plattform liegen vorerst noch zu wenige stratigraphisch gesicherte Anhaltspunkte vor, um darauf aufbauend eine hinreichend fundierte Rekonstruktion der Paläogeographie des südlichen Kalkhochalpins zur Zeit des höheren Nors erstellen zu können.

Das gehäufte Auftreten von synsedimentären Spalten in der Obertrias belegt in kleinem Maßstab diese ab Wende Karn/Nor zunehmende Intensivierung des bruchtektonischen Geschehens, welches nun (zuvor noch im wesentlichen auf die Hallstätter Zone beschränkt) weit nach Norden in den kalkvoralpinen Schelfbereich ausstrahlte (BECHSTÄDT et al., 1978: 172). Die Bildung dieser synsedimentären Spalten ist – worauf schon SCHÖLL & WENDT (1971: 88) hingewiesen haben – nicht auf einengende Kräfte, sondern auf Dehnungsspannungen zurückzuführen (ausschließlich solche wären auch bei anhaltender Krustenausdünnung in dieser Region zu erwarten).

Die intensive Bruchtektonik in der Obertrias der Hallstätter Zone, welche die Anlage tiefer synsedimentärer Spalten bewirkte (SCHLAGER, 1969: 306), ist allerdings weniger der direkte Ausdruck eines großtektonischen Geschehens, sondern vielmehr das Ereignis einer Intensivierung halokinetischer Prozesse.

Die Anlage diapirartiger Strukturen muß bereits in der tieferen Obertrias eingesetzt haben. Die von KRÝSTYN (in KRÝSTYN & SCHÖLLNERBERGER, 1972: 102, Abb. 7) festgestellte starke synsedimentäre Kippung und Rotation größerer Hallstätter Rotkalk-Schollen im steirischen Salzkammergut (Feuerkogel) dürfte mit diesem Ereignis ursächlich zusammenhängen. Im höheren Nor kam es zu einem lokalen Durchbrechen von Diapirschlotten und zu einer partiellen Extrusion des oberpermischen Salinars; resedimentierte Schollen von Haselgebirgstone und Werfener Schichten in obnorischen Hallstätter Kalken (LEIN, 1981: 211–212, Taf. 1/Fig. 2) legen jedenfalls diesen Schluß nahe.

Die durch Salzauftrieb bereits frühzeitig ausgelöste Oberflächenformung des Hallstätter Tiefwasser-Schelfes dürfte im Diapirstadium bedeutend verstärkt worden sein. In einigen Fällen könnten die von aufdringenden Diapiren gebildeten antiklinalen Aufwölbungsbereiche bis in die photische Zone emporgehoben und in weiterer Folge von Rifforganismen besiedelt worden sein (analoge Beispiele einer derartigen Riffbildung über Diapirdächern sind zahlreich; u. a. BOESS, 1984).

Wir nehmen an, daß die aus vermutlich südlicher Richtung geschütteten Kalkturbidite im Bereich der Hallstätter Graukalk-Fazies (MANDL, 1984: 161, Beil. 8) von solchen lokalen Hochzonen herzuleiten sind und keinesfalls als Hinweis für die Existenz eines unmittelbar südlich der Hallstätter Zone folgenden größeren Seichtwasser-Schelfes angesehen werden können.

Ab dem höheren Nor wurde die Seichtwasser-Plattform in ihrem Umfang weiter reduziert: Im Nordwestteil des Schelfes, im Bereich des einstigen Raibler Troges, entstand ein Becken (= Kössener Becken), welches sich fortlaufend eintiefte (PILLER, 1981: Abb. 14, KUSS, 1983). Die in diesem Becken über oberkarnischen bis norischen Seichtwasser-Karbonaten abgelagerten Kössener Schichten sind terrigen beeinflusst (die im Hauptdolomit der nördlichen Kalkvoralpen eingeschalteten Keuperlagen dürften die ersten Vorläufer dieser im höheren Nor stetig zunehmenden terrigenen Schüttungen aus dem nördlichen Vorland darstellen).

Die verbliebene Restfläche der Seichtwasser-Plattform war Wende Nor/Rhät an ihren beiden Flanken – sowohl an der dem offenen Ozean zugewandten Seite, als auch entlang ihres Nordrandes – von Riffen gesäumt. Interessanterweise unterscheiden sich diese beiden Riff-Komplexe deutlich in der Zusammensetzung ihrer Gerüstbildner (FLÜGEL, 1981: Abb. 22). Ob die bestehenden faunistischen Unterschiede zwischen den norisch-rhätischen Südrandriffen und den Oberrhätriffen ausschließlich stratigraphisch begründet sind, oder ob für diese Differenzierung eher standortbedingte ökologische Faktoren ausschlaggebend waren, kann derzeit nicht mit Sicherheit gesagt werden.

4. Ausblick

Zu den wesentlichsten Faktoren im obertriadischen Sedimentationsgeschehen zählt die schrittweise Zerstörung des Seichtwasser-Schelfes, die Umkehrung des bisherigen Subsidenzverhaltens (indem die größten Sedimentmengen nicht mehr auf den Plattformen, sondern in mobilen Senken akkumuliert wurden) sowie die Verlagerung der Zentren größter Subsidenz in den kalkvoralpinen Bereich. Gerade die beiden letzten Faktoren blieben den ganzen Jura hindurch bestimmend. Die Grundlagen der jurassischen Sedimentationsdynamik wurden somit eindeutig in der Obertrias geschaffen.

Schon unter Berücksichtigung dieser kontinuierlich verlaufenden Umstellung wäre es absolut unsinnig, das weitere Geschehen, nämlich die fortschreitende Eintiefung des kalkalpinen Ablagerungsraumes im Jura, von der vorherigen Entwicklung abtrennen und als einen von einem anderen Spreading-Zentrum ausgehenden neuen Prozeß darstellen zu wollen. Die Absenkung des

kalkalpinen Sedimentationsbereiches als ein mit der Öffnung des südpenninischen Ozeans kausal verknüpftes Ereignis darzustellen, entbehrt jeder Logik – besonders, wenn man sich vor Augen hält, daß zwischen diesen beiden Zentren fortschreitender Eintiefung eine mit geringmächtigen Sedimenten besetzte Schwellenzone (Unterostalpin) lag.

Vielmehr glauben wir, daß der mit der Adneter Wende im tiefen Lias eingeleitete Übergang in das Stadium tiefer-mariner Karbonate die folgerichtige Fortsetzung des in diesem Raum bisher wirkenden Krustenausdünnungs-Prozesses darstellt.

Der Höhepunkt der Eintiefung fällt in den unteren Malm (Ruhpoldinger Wende) und ist durch das allgemeine Einsetzen von aus Radiolarien-Schlammern hervorgegangenen Gesteinen gekennzeichnet.

Die durch Dehnungsspannung hervorgerufene brechende Verformung und Spaltenbildung läßt sich auch im ganzen unteren und mittleren Jura nachweisen. Interessant ist in diesem Zusammenhang, daß die jurassischen Spalten offensichtlich dieselben Richtungsmaxima aufweisen, wie die Obertriasspalten des Untergrundes (SCHÖLL & WENDT, 1971: Abb. 4). Dies kann als weiterer Hinweis für idente Rahmenbedingungen in der Obertrias und im tieferen Jura angesehen werden.

Ein einschneidendes Ereignis, über dessen Ursachen und Auswirkungen wir noch zu wenig wissen, stellt die mesokimmerische Phase im mittleren Lias dar. Ein großer Teil der Jurabreccien der Eisenspitze (N Flirsch) in der Lechtaldecke (ACHTNICH, 1982) und möglicherweise auch Teile der Oberseebrekzie (TOLLMANN, 1976a: 338) in der Ötscherdecke verdanken ihre Entstehung diesem Geschehen. Auch die in Liasrotkalken auftretenden Kristallingerölle (PLÖCHINGER, mündl. Mitt.) dürften mit diesem Ereignis in Zusammenhang stehen.

Möglicherweise stellt die mesokimmerische Phase ein erstes Anzeichen kompressiver Tektonik dar.

Ab dem mittleren Jura dürfte die Umformung des passiven zu einem aktiven Kontinentalrand eingesetzt haben, wodurch die Schließung des alpinen Aulacogens ausgelöst wurde.

Der weitere Ablauf dieses Prozesses könnte in der von COHEN (1982: Abb. 1) skizzierten Weise stattgefunden haben, indem zuerst alte Störungen im gegenläufigen Sinn reaktiviert wurden, was zu einer Wiederverdickung des kontinentalen Krustensegmentes führte, dann jüngeres ozeanisches Krustenmaterial (sofern ein solches vorhanden war) obduziert wurde und es schließlich zur Ausbildung von Gleitdecken kam, womit der Wilson-Zyklus seinen Abschluß gefunden hätte. Die Zerlegung des Hallstätter Tiefwasser-Schelfes und die im basalen Oberjura einsetzende weite Nordverfrachtung von Teilen davon, läßt sich jedenfalls auf diese Weise am besten erklären.

Die im Oberjura auf den kalkvoralpinen Bereich übergreifende Einengungstektonik führte zu einer starken Akzentuierung des Reliefs; durch rasch aufsteigende Schwellen kam es zu einer räumlichen Unterteilung des großen Radiolaritbeckens in Teilbecken (DIERSCHKE, 1980: Abb. 30 und 33).

Im Zusammenhang mit diesen Hebungen steht die im Bereich dieser mobilen Flanken erfolgende Bildung autokinetischer Sedimente. Auch die Auslösung lokal begrenzter Gleitphänomene (z. B. Gipfelfaltung im Rofan-gebirge) steht damit im Zusammenhang. Diese lokalen Gleitphänomene dürfen jedoch nicht mit dem weiträumigen

gleitdeckentransport aus dem Südjuvavikum verwechselt werden.

Der durch Krustenausdünnung bedingte Eintiefungsprozeß des Ablagerungsraumes wirkte sich wesentlich auf die Art der stofflichen Zusammensetzung der an den kalkalpinen Sedimentstapel gebundenen Mineralisationen aus und bestimmte auch deren zeitliche Verbreitung. In diesem Sinne kann die Anlage der kalkalpinen Metallkonzentration als ein von plattentektonischen Faktoren gesteuerter Vorgang angesehen werden, auch wenn das Riftinggeschehen als direkte Quelle der Erzlösungen ausscheidet.

Jedes der drei Hauptstadien der kalkalpinen Sedi-mententwicklung ist mit bestimmten Metallkonzentrationen verknüpft (FINLOW-BATES & TISCHLER, 1983): Im Stadium der terrestrischen Rotsedimente wurden vor allem die Elemente U, Cu, Pb, Zn angereichert. An das Stadium der Flachwasser-Karbonate sind hier – wie auch sonst im Bereich passiver Kontinentalränder weltweit (SAWKINS, 1984) – Pb-Zn-Konzentrationen gebunden. Auch noch in dieser Entwicklungsperiode sind die in Frage kommenden Metalllösungen von Verwitterungsprodukten des kontinentalen Hinterlandes abzuleiten (BRANDNER, 1978, S. 347: Aufarbeitung permischer Quarzporphyre; HAGENGUTH, 1984). Nur im Stadium der Tiefwasser-Karbonate scheint die Metallanreicherung teilweise in Verbindung mit submariner vulkanogenerhydrothermalen Tätigkeit gestanden zu haben (Manganschiefer; GERMANN & WALDVOGEL, 1971; BERAN et al., 1983).

Die folgenden Beiträge sind vor allem dem Problem der bestimmten Fällungs- und Konzentrationsmechanismen der im Stadium der Flachwasser-Karbonate (M.-O.Trias) angelegten Metallanreicherungen des alpinen Raumes gewidmet.

Literatur

- ACHTNICH, T.: Die Jurabreccie der Eisenspitze. – Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck, **12/2**, 41–70, 3 Taf., 1 Beil., 15 Abb., Innsbruck 1982.
- ANGENHEISTER, G., BÖGEL, H. & MORTEANI, G.: Die Ostalpen im Bereich einer Geotraverse vom Chiemsee bis Vicenza. – N. Jb. Geol. Paläont. Abh., **148/1**, 50–137, 14 Abb., Stuttgart 1975.
- BECHSTÄDT, T., BRANDNER, R. & MOSTLER, H.: Das Frühstadium der alpinen Geosynklinalentwicklung im westlichen Drauzug. – Geol. Rundschau, **65/2**, 616–648, 8 Abb., Stuttgart 1976.
- BECHSTÄDT, T., BRANDNER, R., MOSTLER, H. & SCHMIDT, K.: Aborted Rifting in the Triassic of the Eastern and Southern Alps. – N. Jb. Geol. Paläont. Abh., **156/2**, 157–178, 6 Abb., Stuttgart 1978.
- BERAN, A., FAUPL, P. & HAMILTON, W.: Die Manganschiefer der Strubbergsschichten (Nördliche Kalkalpen, Österreich) – eine diagenetisch geprägte Mangankarbonatvererzung. – Tschermaks Min. Petr. Mitt., **31**, 175–192, 8 Abb., Wien 1983.
- BOESS, J. G. V.: Der Diapir von Gernika (Nordspanien). – Z. dt. geol. Ges., **135**, 7–21, 7 Abb., 1 Taf., Hannover 1984.
- BOSELLINI, A. & ROSSI, D.: Triassic carbonate buildups of the Dolomites, Northern Italy. – SEPM Spec. Publ., **18**, 209–233, 33 Abb., Tulsa 1974.
- BRANDNER, R.: Tektonisch kontrollierter Sedimentationsablauf im Ladin und Unterkarn der westlichen Nördlichen Kalkalpen. – Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck, **8**, 317–354, 22 Abb., Innsbruck 1978.

- BRANDNER, R.: Meeresspiegelschwankungen und Tektonik in der Trias der NW-Tethys. — *Jb. Geol. B.-A.*, **126/4**, 435–475, 25 Abb., Wien 1984.
- CLOETINGH, S. A. P. L., WORTEL, M. J. R. & VLAAR, N. J.: Passive margin evolution, initiation of subduction and the Wilson cycle. — *Tectonophys.*, **109**, 147–163, 6 Abb., Amsterdam 1984.
- COHEN, C. R.: Model for a Passive to Active Continental Margins Transition: Implications for Hydrocarbon Exploration. — *AAPG Bull.*, **66/6**, 708–718, 9 Abb., Tulsa 1982.
- DICKINSON, W. R.: Plate tectonics and sedimentation. — *SEPM Spec. Publ.*, **22**, 1–27, 11 Abb., Tulsa 1974.
- DICKINSON, W. R.: Plate tectonics evolution of sedimentary basins. — *AAPG Course note Ser.*, **1**, 5. Aufl., 1–56, 25 Abb., Tulsa 1979.
- DIERSCHKE, V.: Die Radiolarite des Oberjura im Mittelabschnitt der Nördlichen Kalkalpen. — *Geotekt. Forsch.*, **58**, 1–217, 3 Taf., 45 Abb., 1 Tab., Stuttgart 1980.
- DIETRICH, V.: Plattentektonik in den Ostalpen — eine Arbeitshypothese. — *Geotekt. Forsch.*, **50**, 1–84, 4 Abb., 3 Tab., 1 Kt., Stuttgart 1976.
- DONOFRIO, D. A. & MOSTLER, H.: Zur Verbreitung der Saturnalidae (Radiolaria) im Mesozoikum der Nördlichen Kalkalpen und Südalpen. — *Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck*, **7/5**, 1–55, 7 Taf., 5 Tab., Innsbruck 1978.
- ERKAN, E.: Uran- und gipsführendes Permoskyth der östlichen Ostalpen. — *Jb. Geol. B.-A.*, **120/2**, 343–400, 15 Abb., Taf. 1, Wien 1977.
- FINLOW-BATES, T. & TISCHLER, S. E.: Controls on Alpidic Mineralization Styles. — In: SCHNEIDER, H. J. (ed.): *Mineral Deposits of the Alps and of the Alpine Epoch in Europe*, 7–18, 4 Abb., Berlin (Springer) 1983.
- FLÜGEL, E.: Palaeoecology and Facies of Upper Triassic Reefs in the Northern Calcareous Alps. — *S. E. P. M. Spec. Publ.*, **30**, 291–359, 26 Abb., 14 Tab., Tulsa 1981.
- FLÜGEL, E.: Evolution of Triassic Reefs: Current Concepts and Problems. — *Facies*, **6**, 297–328, 7 Abb., Erlangen 1982.
- FRISCH, W.: Die Alpen im westmediterranen Orogen — eine plattentektonische Rekonstruktion. — *Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr.*, **24**, 263–275, 5 Abb., Wien 1977.
- FÜCHTBAUER, H. & RICHTER, D. K.: Relations between submarine fissures, internal breccias and mass flows during Triassic and earlier rifting periods. — *Geol. Rundschau*, **72/1**, 53–66, 4 Abb., Stuttgart 1983.
- GERMAN, K. & WALDVOGEL, F.: Mineralparagenesen und Metallgehalte der „Manganschiefer“ (unteres Toarcien) in den Allgäu-Schichten der Allgäuer und Lechtaler Alpen. — *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.*, **139/3**, 316–345, 10 Abb., 4 Tab., Stuttgart.
- HADITSCH, J. G. & MOSTLER, H.: Late Variscan and Early Alpine Mineralization in the Eastern Alps. — In: AMSTUTZ, G. C. et al. (ed.): *Ore Genesis — The State of the Art*, 582–589, 1 Abb., Berlin (Springer) 1982.
- HAGENGUTH, G.: Geochemische und fazielle Untersuchungen an den Maxerbänken im Pb-Zn-Bergbau von Bleiberg-Kreuth / Kärnten. — *Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr.*, **SH 1**, 110 S., 46 Abb., 1 Tab., 1 Beil., Wien 1984.
- HAUG, E.: Les géosynclinaux et les aires continentales. Contribution à l'étude des régressions et des transgressions marines. — *Bull. Soc. Géol. France*, **28/3**, 617–711, Paris 1900.
- HESS, R. & ROSSNER, R.: Die Lithofazies der Salberg-Schichtenfolge (Permoskyth) im Bereich Liezen — Admont (Steiermark, Österreich). — *Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr.*, **30/31**, 95–116, 2 Abb., 2 Taf., Wien 1984.
- JACKSON, M. A. P. & SENI, S. J.: Geometry and evolution of salt structures in a marginal rift basin of the Gulf of Mexico, East Texas. — *Geology*, **11**, 131–135, 3 Abb., Boulder 1983.
- JARITZ, W.: Zur Entstehung der Salzstrukturen Nordwestdeutschlands. — *Geol. Jb.*, **A10**, 77 S., 1 Tab., 2 Taf., Hannover 1973.
- KINSMAN, D. J. J.: Salt floores to geosynclines. — *Nature*, **255**, 375–378, 3 Abb., 1 Tab., New York 1975.
- KIRCHNER, E. C.: Vulkanite aus dem Permoskyth der Nördlichen Kalkalpen und ihre Metamorphose. — *Mitt. österr. geol. Ges.*, **71/72** (1978/79), 385–396, 6 Abb., 2 Tab., Wien 1980.
- KOBER, L.: Alpen und Dinariden. — *Geol. Rundschau*, **5/3**, 175–204, 3 Abb., Leipzig 1914.
- KOVACS, S.: Problems of the "Pannonian Median Massif" and the Plate Tectonic concept. Contributions based on the Distribution of Late Palaeozoic—Early Mesozoic isopic Zones. — *Geol. Rundschau*, **71/2**, 617–640, 4 Abb., Stuttgart 1982.
- KRYSTYN, L. & SCHÖLLNBERGER, W.: Die Hallstätter Trias des Salzkammergutes. — *Exkurs.-Führung Tagung Paläont. Ges.* 1972, 61–106, 1 Abb., 1 Tab., Graz (Paläont. Ges.) 1972.
- KUSS, J.: Faziesentwicklung in proximalen Intraplattform-Bekken: Sedimentation, Paläökologie und Geochemie der Kösseiner Schichten (Ober-Trias, Nördliche Kalkalpen). — *Facies*, **9**, 61–172, Taf. 9–24, 41 Abb., 8 Tab., Erlangen 1983.
- LEIN, R.: Neue Ergebnisse über die Stellung und Stratigraphie der Hallstätter Zone südlich der Dachsteindecke. — *Sitzber. Österr. Akad. Wiss., math.-naturwiss. Kl., Abt. I*, **184**, 197–235, 6 Abb., Wien 1976.
- LEIN, R.: Deckschollen von Hallstätter Buntkalken in Salzbergfazies in den Müürztaler Alpen südlich Mariazell (Steiermark). — *Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr.*, **27**, 207–235, 4 Abb., 1 Taf., Beil. 12, Wien 1981.
- LEIN, R.: Paläogeographie und tektonische Deformation des Aflener Troges im Bereich der westlichen Müürztaler Alpen südwestlich Mariazell (Stmk.). — *Jber. Hochschulschwerpunkt S 15*, H. 3, 203–221, Leoben 1982a.
- MANDL, G. W.: Zur Trias des Hallstätter Faziesraumes — ein Modell am Beispiel Salzkammergut (Nördliche Kalkalpen, Österreich). — *Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr.*, **30/31**, 133–176, 5 Taf., 8 Beil., 5 Abb., Wien 1984.
- MOSTLER, H.: Die permoskythische Transgressions-Serie der Gailtaler Alpen. — *Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr.*, **20**, 143–149, 2 Abb., Wien 1972a.
- MOSTLER, H.: Zur Gliederung der Permoskyth-Schichtfolge im Raum zwischen Wörgl und Hochfilzen (Tirol). — *Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr.*, **20**, 155–162, 1 Abb., Wien 1972b.
- MOSTLER, H. & ROSSNER, R.: Mikrofazies und Paläökologie der höheren Werfener Schichten (Untertrias) der Nördlichen Kalkalpen. — *Facies*, **10**, 87–144, Taf. 12–18, 16 Abb., 1 Tab., Erlangen 1984.
- NIEDERMAYR, G.: Gedanken zur lithofaziellen Gliederung der postvariszischen Transgressions-Serie der westlichen Gailtaler Alpen, Österreich. — *Mitt. Geol. Ges. Wien*, **66/67** (1973/74), 105–126, 4 Abb., 2 Tab., Wien 1975.
- NIEDERMAYR, G. & SCHERIAU-NIEDERMAYR, E.: Zur Nomenklatur, Seriengliederung und Lithofazies der permo-skythischen Basisschichten des westlichen Drauzuges. — *Verh. Geol. B.-A.*, **1982/2**, 33–51, 2 Abb., Wien 1982.
- NOWY, W. & LEIN, R.: Zur Geologie des Bosruck-Autobahntunnels (Pyhrnautobahn, Österreich). — *Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr.*, **30/31**, 45–94, 5 Abb., 8 Taf., 1 Beil., Wien.
- PAUTOT, G. et al.: Continuous Deep Sea Salt Layer along North Atlantic Margins related to Early Phase of Rifting. — *Nature*, **227**, 351–354, 2 Abb., New York 1970.
- PILLER, W.: The Steinplatte reef complex, part of an Upper Triassic carbonate platform near Salzburg, Austria. — *SEPM Spec. Publ.*, **30**, 261–290, 23 Abb., Tulsa 1981.
- PREY, S.: Rekonstruktionsversuch der alpidischen Entwicklung der Ostalpen. — *Mitt. österr. geol. Ges.*, **69/1976**, 1–25, 6 Abb., Wien 1978.
- RETI, Z.: Triassic Ophiolite in Evaporite Melange, Northern Hungary. — *Ophioliti, Suppl. Vol. 9*, S. 59, Bologna 1984.
- SARNTHEIN, M.: Versuch einer Rekonstruktion der mitteltriadischen Paläogeographie um Innsbruck, Österreich. — *Geol. Rundschau*, **56**, 116–127, 4 Abb., 1 Taf., Stuttgart 1967.
- SAWKINS, F. J.: Metal Deposits in Relation to Plate Tectonics. — 325 S., 173 Abb., Berlin (Springer) 1984.

- SCHÄFFER, G.: Die Hallstätter Triasentwicklung um den Plas- sen (O. Ö.). – Unveröff. Diss. Phil. Fak. Univ. Wien, 198 S., 92 Abb., 22 Taf., Wien 1971.
- SCHLAGER, W.: Das Zusammenwirken von Sedimentation und Bruchtektonik in triadischen Hallstätter Kalken der Ostalpen. – Geol. Rundschau, **59/1**, 289–308, 8 Abb., Stuttgart 1969.
- SCHLAGER, W.: The paradox of drowned reefs and carbonate platforms. – Geol. Soc. Am. Bull., Pt. I, **92**, 197–211, 14 Abb., 2 Tab., Boulder 1981.
- SCHLAGER, W. & SCHÖLLNERBERGER, W.: Das Prinzip der stratigraphischen Wenden in der Schichtfolge der Nördlichen Kalkalpen. – Mitt. Geol. Ges. Wien, **66/67** (1973/74), 165–193, 2 Abb., Wien 1975.
- SCHÖLL, W. & WENDT, J.: Obertriadische und jurassische Spaltenfüllungen im Steinernen Meer (Nördliche Kalkalpen). – N. Jb. Paläont. Abh., **139/1**, 82–98, 10 Abb., 1 Tab., Stuttgart 1971.
- SHANMUGAM, G. & MOIOLA, R. J.: Eustatic control of turbidites and winnowed turbidites. – Geology, **10**, 231–235, 3 Abb., Boulder 1982.
- SHANMUGAM, G. & MOIOLA, R. J.: Eustatic control of calciclastic turbidites. – Mar. Geol., **56**, 273–278, 4 Abb., Amsterdam.
- STILLE, H.: Grundfragen der vergleichenden Tektonik. – 443 S., 14 Abb., Berlin (Bornträger) 1924.
- STINGL, V.: Ein Beitrag zur Fazies der Prebichlschichten zwischen St. Johann i. T. und Leogang (Tirol, Salzburg). – Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck, **12/10**, 207–233, 1 Taf., 9 Abb., 2 Tab., Innsbruck 1983.
- THIEDIG, F. & CHAIR, M.: Ausbildung und Verbreitung des Perms in den St. Pauler und Griffener Bergen Ostkärntens (Österreich). – Carinthia II, **84**, 105–113, Klagenfurt 1975.
- TOLLMANN, A.: Ostalpensynthese. – VIII + 256 S., 22 Abb., 11 Taf., Wien (Deuticke) 1963.
- TOLLMANN, A.: Das Permoskyth in den Ostalpen sowie Alter und Stellung des „Haselgebirges“. – N. Jb. Geol. Paläont. Mh., **1964**, 270–299, 1 Tab., Stuttgart 1964.
- TOLLMANN, A.: Bemerkungen zu faziellen und tektonischen Problemen des Alpen-Karpaten-Orogens. – Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Wien, **18**, 207–248, Taf. 8, Wien 1968.
- TOLLMANN, A.: Alter und Stellung des Alpenen Verrucano in den Ostalpen. – Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr., **20**, 83–95, 1 Abb., Wien 1972.
- TOLLMANN, A.: Analyse des klassischen Nordalpinen Mesozoikums. Stratigraphie, Fauna und Fazies der Nördlichen Kalkalpen. – Monographie der Nördlichen Kalkalpen, Bd. 2, XVI + 580 S., 256 Abb., 3 Taf., Wien (Deuticke) 1976.
- TOLLMANN, A.: Neuergebnisse über die deckentektonische Struktur der Kalkhochalpen. – Mitt. österr. geol. Ges., **71/72** (1978/79), 397–402, 1 Abb., Wien 1980.
- TOLLMANN, A.: Oberjurassische Gleittektonik als Hauptformungsprozeß der Hallstätter Region und neue Daten zur Gesamttektonik der Nördlichen Kalkalpen in den Ostalpen. – Mitt. österr. geol. Ges., **74/75** (1981/82), 167–195, 4 Abb., 1 Tab., Wien 1981.
- TRUSHEIM, F.: Über Halokinese und ihre Bedeutung für die strukturelle Entwicklung Norddeutschlands. – Z. dt. geol. Ges., **109**, 111–151, 14 Abb., Hannover 1957.
- TRUSHEIM, F.: Zur Tektogenese der Zagros-Ketten Süd-Irans. – Z. dt. geol. Ges., **125**, 119–150, 20 Abb., Hannover 1974.
- WIEDMANN, J.: Grundzüge der kretazischen Subsidenz-Entwicklung im Südatlantik, in Marokko, Nordspanien und im Helvetikum. – N. Jb. Geol. Paläont. Abh., **165/1**, 5–31, 10 Abb., 1 Tab., Stuttgart 1983.
- ZANKL, H.: Die Karbonatsedimente der Obertrias in den Nördlichen Kalkalpen. – Geol. Rundschau, 128–139, 1 Abb., Stuttgart 1967.

Manuskript bei der Schriftleitung eingelangt am 15. August 1984.