

Z. deutsch. geol. Ges. Jahrgang 1969	Band 121	S. 253—272 4 Abb., 1 Taf.	Hannover September 1970
---	----------	------------------------------	----------------------------

DOI: 10.1127/zdgg/121/1970/253

## Zur Sedimentologie und Paläogeographie der Raibler Schichten (Ober-Trias) im Westteil der Nördlichen Kalkalpen<sup>1)</sup>

Mit 4 Abbildungen und 1 Tafel

Von WOLFGANG HARSCH<sup>\*)</sup>, München

### Zusammenfassung

Detaillierte Profilaufnahmen, sedimentologische Untersuchungen an Karbonatgesteinen und Mächtigkeitsvergleiche der Raibler Schichten im Westteil der Nördlichen Kalkalpen ergeben ein Schema für die Faziesverteilung und Hinweise auf die Paläogeographie während der karnischen Stufe in diesem Alpenabschnitt:

Ein aus dem vorausgegangenen Ladin überliefertes Meeresbodenrelief mit maximalen Tiefen von ca. 100 m bestimmte zu Beginn des Karns weitgehend das Ablagerungsmilieu. Dieses Relief wurde durch die Sedimentation der ältesten Raibler Schichten (Horizont 1a), vorwiegend festländischer Detritus, der von Norden, Westen und Süden eingeschwemmt wurde, aufgefüllt. Die ökologischen Bedingungen waren nur in den östlichen flachen Meeresbereichen gut.

Die jüngeren Raibler Schichten (Horizont 1b bis 2c) setzten sich dann in einem überall sehr flachen, wenig belebten und vorwiegend ruhigen Meer ab. Karbonat-Sedimentation herrschte vor. Die zwischengeschalteten terrigen Ablagerungen wurden aus dem Westen und Süden eingeschüttet. Gegen Ende der karnischen Stufe nahm die Evaporation zu. Mächtige Gipslager entstanden vor allem im Westen und Norden. Das offene Meer lag im Osten.

Der betrachtete Kalkalpenabschnitt stellt während des Karns das Westende eines paläogeographisch eigenständigen Sedimentationsraumes dar. Vor allem im Südwesten scheint die heutige Umgrenzung der westlichen Nordalpen dem ehemaligen Küstensaum des karnischen Meeres zu folgen.

<sup>1)</sup> Die von der DEUTSCHEN FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT unterstützte Arbeit wurde am Institut für Geologie der Technischen Hochschule München ausgeführt. Sie entstand im Rahmen des Forschungsprogrammes Alpine Trias meines hochverehrten Lehrers, Herrn Professor Dr. P. SCHMIDT-THOMÉ. Für sein stetes Interesse am Fortgang der Arbeit bin ich ihm besonders dankbar. Herrn Dr. G. TISCHER, München, danke ich für die Durchsicht des Manuskripts.

<sup>\*)</sup> Anschrift des Autors: Dr. W. HARSCH, Institut für Geologie der Technischen Hochschule München, München 2, Arcisstr. 21; jetzt: c/o DEILMANN-HANIEL GMBH, Dortmund-Kurl, Haustenbecke 1.

### Résumé

Les coupes géologiques détaillées, les recherches sédimentologiques effectuées sur les roches de carbonate et la comparaison des épaisseurs des couches de Raibler dans la partie occidentale des Alpes calcaires du Nord nous donnent un schéma de la distribution des facies et nous fournissent des informations regardant la paléogéographie pendant la période Carnienne dans cette région des Alpes:

Un relief du fond de la mer transmis du Ladinien précédent, d'une profondeur maximum de 100 mètres à peu près, déterminait le milieu sédimentaire au commencement du Carnien. Ce relief fut rempli de la sédimentation des couches de Raibler les plus anciennes (horizon 1 a), pour la plupart consistant de sédiments clastiques continentaux provenant du nord, de l'ouest et du sud. Les conditions écologiques étaient favorables seulement dans les régions peu profondes de la partie orientale de la mer.

Les couches de Raibler plus récentes (horizon 1 b—2 c) se déposaient ensuite dans une mer peu profonde partout, peu animée et calme. La sédimentation en carbonate prévalait. Les dépôts intercalés d'origine continentale y furent transportés de l'ouest et du sud. Vers la fin de la période Carnienne l'évaporation augmentait. De puissantes couches de gypse se développaient avant tout dans l'ouest et le nord, pendant que la mer ouverte s'étendait vers l'est.

La région des Alpes calcaires que nous avons regardée représente pendant le Carnien l'extrême occidentale d'une région de sédimentation paléogéographiquement indépendante. Dans le sud-ouest particulièrement les bornes actuelles des Alpes du Nord occidentales semblent suivre l'ancien littoral de la mer Carnienne.

### Abstract

Detailed tracing of profiles, sedimentological studies carried out on carbonate rocks and comparisons of the thicknesses of the Raibler layers in the western part of the Northern Limestone Alps yield a diagram that shows the distribution of the facies, as well as certain indications regarding the paleography in this part of the Alps during the Carnian period:

A sea-floor relief transmitted from the Ladinian of a maximum depth of 330 feet largely determinated the sedimentary milieu at the beginning of the Carnian. This relief was filled up by the sedimentation of the oldest Raibler layers (horizon 1 a), chiefly consisting of continental clastic deposits, which were carried by stream action from the north, the west and the south. Ecological conditions were good in the shallow eastern areas of the sea only.

The younger Raibler layers (horizon 1b to 2c) were then deposited in a sea that was shallow throughout, with little plant and animal life, and mostly calm. Carbonate sedimentation prevailed. The interspersed terrigenous sedimentary layers were carried into the sea from the north and the south. Towards the end of the Carnian, evaporation increased. Mighty layers of gypsum developed especially in the west and north. The open sea was in the east.

During the Carnian, the part of the Limestone Alps under consideration represented the western end of a paleographically self-contained sedimentation area. In the southwest particularly, the present boundaries of the Northern Alps seem to follow the former coastline of the Carnian sea.

## I. Einführung

Von den mesozoischen Ablagerungen der Nördlichen Kalkalpen eignen sich die Raibler Schichten (tiefste Ober-Trias) besonders gut für lithofazielle und paläogeographische Untersuchungen, denn sie sind zwischen mächtigen Karbonatserien als andersartige Schichtfolge eingeschaltet, worin sich vor allem wiederholte Festlandseinflüsse abbilden. Die Raibler Schichten waren in den letzten Jahren mehrfach Gegenstand von detaillierten Faziesuntersuchungen (JERZ 1965, 1966; KRAUS 1968, KRAUS & OTT 1968; SCHULER 1968). Die vorliegende Arbeit behandelt diese Schichten in einem Gebiet, das sich westlich an das Arbeitsgebiet von JERZ anschließt (siehe Lageplan auf Taf. 5).

Das Liegende der Raibler Schichten ist im Arbeitsgebiet nicht gleichförmig, sondern besteht entweder aus Wettersteinkalk oder Partnachsichten oder Arlbergschichten. Das Hangende bildet dagegen überall der Hauptdolomit. Die Gliederung der Raibler Schichten in einzelne Horizonte beruht hauptsächlich auf lithologischen Gesichtspunkten (erstmals durch v. WÖHRMANN 1889, 1894). ANGERMEIER et al. (1963) scheiden zusätzlich eine Obere Schieferton-Folge aus (= Horizont 2b). Die Einordnung der Raibler Schichten folgt dem Vorschlag BITTNER (1894, S. 377).

### Übersicht (s. auch Legende auf Taf. 5)

Nor	Hauptdolomit
Ober-Trias	Raibler (Karbonat-) Horizont 2 c (klastischer) Horizont 2 b (Karbonat-) Horizont 2 a
Karn	Schichten (klastischer) Horizont 1 c (Karbonat-) Horizont 1 b (klastischer) Horizont 1 a
Mittel-Trias	Ladin Wettersteinkalk oder Partnachsichten oder Arlbergschichten

Die einzelnen Raibler Horizonte sind keine stratigraphischen Horizonte. Die Karbonat-Horizonte werden vorwiegend von Kalken und Dolomiten aufgebaut; geringmächtige Schieferton-Lagen können zwischengeschaltet vorkommen. Die klastischen Horizonte bestehen aus Schiefertonen und Sandsteinen; vereinzelt treten Kalkbänke auf (z. B. Sphaerocodien-Kalke oder Ostreeen-Kalke).

## II. Fazieszonen und Schichtfolgen

Die Profilaufnahmen (Taf. 5, ausführlicher s. HARSCH 1968) und die lithologischen Untersuchungen ergeben, daß die Ablagerung der Raibler Schichten im Untersuchungsgebiet nicht überall gleichförmig verlief. Vielmehr stellt sich eine Gliederung in annähernd westöstlich verlaufende Fazieszonen heraus, die sich

sehr gut an die weiter östlich von JERZ (1966) und SCHULER (1968) festgestellten Faziesbereiche anschließen lässt. Im folgenden werden die Fazieszonen, in der Reihenfolge von Norden nach Süden und von Osten nach Westen, kurz charakterisiert. Die dabei verwendeten Deckenbezeichnungen sind im Sinne von SCHMIDT-THOMÉ (1964, S. 290) zu verstehen

Die Nord-Fazies der Raibler Schichten findet sich im Bereich der Allgäu- und Lechtaldecke in den Allgäuer und Vilser Alpen (Abb. 1 und Taf. 5, Profil 31, 33 und 34 und Profil Vilser Alpen nach JERZ sowie Aufschlußpunkt 29). Soweit das Liegende der Raibler Schichten aufgeschlossen ist, wird es von Wetterstein-Kalk gebildet. Die Raibler Schichten beginnen mit einem 15—20 m dicken Horizont 1 a, ohne Einschaltung von Sphaerocodien-Kalken und mit sehr vielen Sandsteinbänken, die reichlich Pflanzenreste führen. Über Horizont 1 a folgen zunächst ca. 1 m gelbe Mergelkalke (= „Gelbkalk“ s. SCHULER 1968, S. 33), dann Kalke und Dolomite. Den oberen Teil der Schichtfolge bilden Rauhwacken und Evaporite.

Die höheren klastischen Horizonte 1 c und 2 b sind also nicht ausgebildet. Erst im Süden der Nord-Fazies tritt eine zweite Schieferonfolge auf, welche die für den klastischen Horizont 2 b typischen Ostreeen-Kalke führt (Abb. 1 und Taf. 5, Profil 31 und 33).

Die Mächtigkeit der Raibler Schichten im Bereich der Nord-Fazies nimmt von N nach S von 100 auf 200 m zu. Die Nord-Fazies lässt sich nach Osten bis ins Hochgern-Gebiet verfolgen (SCHULER 1968, S. 28). Sie wird östlich der Salzach von der Lunzer Fazies vertreten.

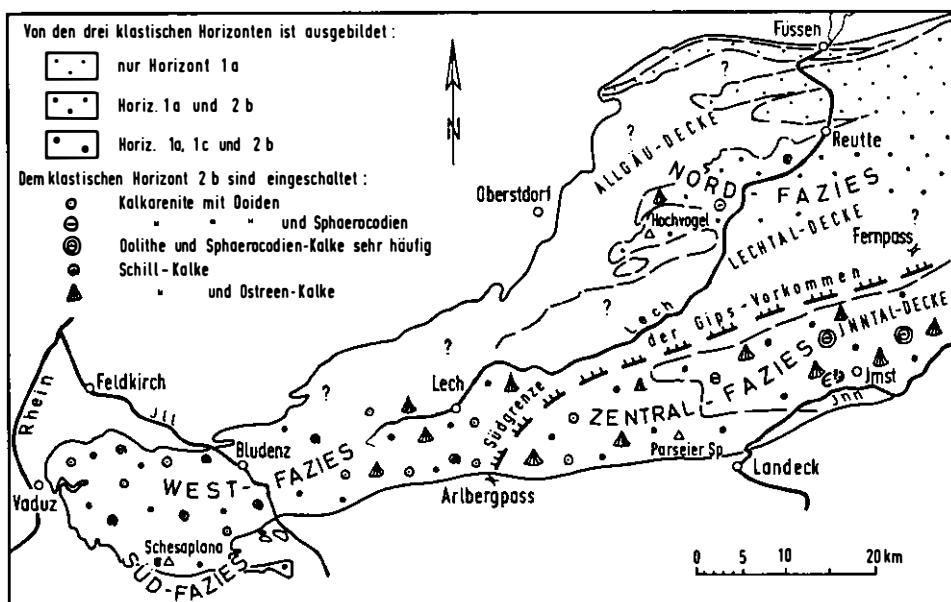


Abbildung 1: Raibler Schichten (Ober-Trias). Faziesbereiche der Raibler Schichten, Verbreitung der klastischen Horizonte 1 a, 1 c und 2 b (s. S. 255 ff.), Vorkommen charakteristischer Kalkbänke in Horizont 2 b (s. S. 262) und Verbreitung von Gips im oberen Teil Horizont 2 c (s. S. 269).

Die Zentral-Fazies kommt innerhalb der Lechtal- und Inntaldecke in den Lechtaler Alpen und östlich von Imst im Tschirgant vor (Abb. 1 und Taf. 5, Profil 4, 6, 11, 36, 38, 52, 57, 61 und Profil Heiterwand nach JERZ sowie Aufschlußpunkt 2 und 3). Hier bilden Wettersteinkalk oder Partnachschichten das Liegende der Raibler Schichten (Verbreitung s. Abb. 3). Die Partnachschichten sind Ablagerungen auf tieferen Teilen des Meeresbodens („Beckenfazies“) zwischen den höher liegenden Riffkomplexen des Wettersteinkalks. Wo die Raibler Schichten auf Wettersteinkalk folgen (Taf. 5, Profil 6, 52, 57, 61 und Profil Heiterwand), ist der Horizont 1a sandsteinreich und ca. 25 m dick. Es sind in den zentralen Riffgebieten (Profil 52, 57, 61 und Profil Heiterwand) zwei und in den randlichen (Profil 6 = Westende der Riffplatte) eine Sphaerocodien-Bank entwickelt. Der Karbonat-Horizont 1b setzt mit 0,5–1 m Sandkalken oder gelben mergeligen Kalken ein („Gelbkalk“). Darüber folgen Kalke und Dolomite. Die Dolomite sind meistens feingeschichtet; sie enthalten häufig Stromatolithen. Der klastische Horizont 1c (ca. 8 m) führt immer Sandsteine und häufig Echinodermenspat- und Lumachellen-Kalke.

Der Karbonat-Horizont 2a besteht vorwiegend aus gut gebankten Kalken, denen verschiedentlich 1 bis 2 m dicke Kalkmergel- und Mergellagen zwischenlagert sind. Zwischen den Schiefertonen und Sandsteinen des Horizonts 2b treten die charakteristischen Ostreeen-Kalke sowie Oolithe und Sphaerocodien-Kalke auf (Abb. 1). Der Karbonat-Horizont 2c beginnt mit gebankten Kalken; es folgt eine schwach sandige, max. 4 m dicke Schieferton-Einschaltung; darüber liegen niveaubeständig Schlickgeröll-Kalke, dann Kalke, Dolomite und Rauhwacken. Die Raibler Schichten über Wettersteinkalk sind im Heiterwand-Gebiet ca. 300 m mächtig; nach Süden (Tschirgant) nimmt ihre Mächtigkeit auf 150 bis 200 m ab.

Dort, wo die Raibler Schichten über Partnachschichten liegen, nämlich nördlich der zentralen Wettersteinkalk-Areale (Taf. 5, Profil 4 und 36), ist der Horizont 1a ca. 100 m mächtig; er ist sandsteinarm und enthält keine Sphaerocodien-Kalke (Abb. 3). Die Gesamtmächtigkeit beträgt max. 400 m. (Die Ausbildung der übrigen Raibler Horizonte gleicht der über Wettersteinkalk.)

Eine Sonderstellung nehmen die Profile 11 und 38 nordwestlich vom Arlbergpaß ein. Paläogeographisch liegen sie am Westende jenes Partnach-Beckens, das sich nördlich der zentralen Wettersteinkalk-Vorkommen ausbreitete. Südlich enden auch die Wettersteinkalk-Vorkommen. Partnachschichten und Wettersteinkalk werden nach Westen von den Arlbergschichten abgelöst (Abb. 3). Außerdem liegen die Profile im „Einflußgebiet“ des karnischen Untiefen-Bezirks von Lech (s. S. 258): Der Horizont 1a liegt über Partnachschichten und ist trotzdem nur 26 m mächtig. Er führt wenig Sandsteine und enthält eine Onkolith-Bank mit kleinvüchsigen Sphaerocodien. Die Gesamtmächtigkeit beträgt nur 150 m.

Die Zentral-Fazies läßt sich nach Osten über das Wetterstein- und Karwendelgebirge (JERZ 1966, S. 24f) bis in die Chiemgauer Berge und das Kaisergebirge (SCHULER 1968, S. 28) verfolgen. Die Raibler Schichten in der Wamberger Sattelzone östlich von Garmisch (= Zentrum des Partnach-Beckens s. JERZ 1966, S. 23) entsprechen lithologisch den Profilen 4 und 36.

Die West-Fazies findet sich im Westteil der Lechtaldecke in Vorarlberg und Liechtenstein (Abb. 1 und Taf. 5, Profil 13, 14, 15, 17, 21, 26, 41, 47, 48, 60 und Profil Marchtobel und Kluppen nach JERZ sowie Aufschlußpunkt 7, 8, 9, 16,

18, 20, 22, 23, 24, 25, 28, 39, 40, 51 und 58). Hier vertreten die Arlbergschichten die ladinische Stufe. Die Raibler Schichten liegen also in West-Fazies (bzw. Süd-Fazies s. u.) vor, wenn die Arlbergschichten das Liegende bilden. Sie sind dann gekennzeichnet durch einen sandsteinreichen, ca. 20 m dicken Horizont 1 a. Die Sandsteine führen reichlich Pflanzenreste; Sphaerocodien fehlen (Abb. 3). In den östlich gelegenen Profilen steht anstelle der Sphaerocodien-Bank ein Kalksandstein mit Biotritus an. Der Karbonat-Horizont 1 b beginnt mit einem gelblichen Sandkalk. Es folgen laminierte Dolomite, Rauhwacken und untergeordnet Kalke. Die Dolomite enthalten oft Stromatolithen. Die Mächtigkeit des klastischen Horizonts 1 c schwankt zwischen 5 und 10 m; glaukonitreiche Sandsteine sind häufig und Lumachellen-Kalke äußerst selten.

Kalke, feingeschichtete Dolomite und zentimeter- bis dezimeterdicke Mergel- und Kalkmergel-Einschaltungen bilden den Karbonat-Horizont 2 a. Der Horizont 2 b enthält außer den Schiefertonen und Sandsteinen Schill-Kalke, die im Osten noch Ostreen führen (Abb. 1), Oolith-Kalke und typisch gelb anwitternde Mergelkalke, häufig mit Lebensspuren. Wurmgrabgänge gibt es auch in den Sandsteinen. Sphaerocodien treten auch in Horizont 2 b nicht auf. Über 2 b liegen der Reihe nach Kalke, eine 2 m dicke, manchmal sandige Schieferton-Lage, Schlickgeröll-Kalke, Kalke, Dolomite, Rauhwacken und ein in der Regel 20 bis 30 m mächtiges Gipslager. Insgesamt sind die Raibler Schichten in West-Fazies ca. 200 m mächtig.

Die Faziesentwicklung der Raibler Schichten südöstlich von Lech am Arlberg zeigt einen Untiefenbereich im karnischen Meer an. Sie beginnen mit einem Transgressionskonglomerat über massigem Arlbergdolomit (Taf. 5: Profil Kluppen nach JERZ 1966, S. 27 ff). Es folgen 10 m Schiefertone und Sandsteine. Darüber liegen 5 m Kalke mit endostratischen Breccien. Es handelt sich möglicherweise um Horizont-2 a-Kalke, denn sie werden vom klastischen Horizont 2 b mit seinen typischen Leitbänken überlagert. Die Schichtfolge wird abgeschlossen von Kalken des Horizonts 2 c, die ebenfalls viele sedimentäre Breccien enthalten. In der liegenden klastischen Serie sind also vermutlich die Horizonte 1 a, 1 b und 1 c kondensiert. Insgesamt sind die Raibler Schichten südöstlich von Lech nur 40 m mächtig. Auch in der weiteren Umgebung sind sie geringmächtiger als im übrigen Westteil (Abb. 4).

Das Vorkommen von Raibler Schichten in Süd-Fazies (Abb. 1 und Taf. 5, Profil 19 und 27, z. T. 15 und 51 sowie Aufschlußpunkt 50) ist auf die Zimba-Schesaplana-Scholle beschränkt, welche von den am Kalkalpen-Südrand übriggebliebenen Strukturen der Lechtal-Decke am südlichsten liegt und nur noch im Rätikon und in der Davenna-Gruppe erhalten ist. Die höheren Arlbergschichten werden hier außer von den üblichen Dolomiten mit Schiefertonlagen von mürben, löcherigen Kalken und Rauhwacken aufgebaut. Die Raibler Schichten setzen mit einer 2 m dicken Schieferton-Serie ein, die selten Sandsteine enthält. Es folgen im Wechsel Mergel, Dolomite, Kalke und Rauhwacken. Diese unteren Raibler Schichten schließt eine 3 m dicke Schieferton-Serie mit rötlichen Sandsteinen ab.

Den oberen Teil bilden Rauhwacken, Dolomite und seltener Kalke. Zwischen geschaltet gibt es rötliche Sandsteine, grünliche und gelbliche Mergelkalke und im Grenzbereich zum Hauptdolomit max. 1,5 m dicke Mergel-Lagen. Der Hauptdolomit beginnt mit einer 2 m dicken, sedimentären Breccie.

Die Raibler Schichten in Süd-Fazies sind nur 55 bis 80 m mächtig. Mit den viel mächtigeren, benachbarten Vorkommen in West-Fazies ist die lithostratigraphische Parallelisierung schwierig, da typische Leitbänke weitgehend fehlen und die charakteristische Dreiteilung durch die klastischen Horizonte 1 a, 1 c und 2 b nicht deutlich ist.

Eine Faziesverzahnung zwischen Süd- und West-Fazies lässt sich dennoch nachweisen (Lage der Vorkommen s. Taf. 5): Die Raibler Schichten in Profil 51 sind einerseits wie die Süd-Fazies-Profile geringmächtig (65 m); andererseits enthält ihre oberste klastische Einschaltung die für den Horizont 2 b typischen Schill-Kalke und gelb anwitternden Mergelkalke. Im Aufschlusspunkt 50 liegt über Arlbergrauwacken und -dolomiten ein 20 m dicker Horizont 1 a wie im Bereich der West-Fazies; er wird jedoch überlagert von 25 m Rauhwacke, dann der Reihe nach von einer 3 m dicken Schieferton-Sandstein-Folge, 0,5 m rötlichem Sandstein, 8 m Rauhwacke und wieder 1,5 m rötlichem Sandstein (vgl. Süd-Fazies). Profil 15 besitzt die Mächtigkeit der Raibler Schichten in West-Fazies (ca. 200 m); dagegen gleichen die Horizonte 1 c und 2 b den höheren klastischen Einschaltungen der Raibler Schichten in Süd-Fazies.

### III. Charakteristische Karbonatgesteine und ihr Vergleich mit rezenten Bildungen

Der größte Teil der Raibler Schichten besteht aus Karbonatgesteinen. Sie bilden nicht nur überwiegend die Karbonat-Horizonte 1 b, 2 a und 2 c, sondern auch Bänke in den klastischen Horizonten 1 a, 1 c und 2 b, wo sie von Profil zu Profil zum Teil sehr gut korrelierbar sind. Es treten auf in:

- Horizont 1 a: Sphaerocodien-Kalke; Fossilschutt-Kalke
- Horizont 1 b: gelbe Mergelkalke und Sandkalke, häufig mit Wühlgefügen (= „Gelbkalk“ s. SCHULER 1968, S. 33); Dolomite und Kalke mit zentimeter- bis dezimeterdicker (selten meterdicker) Bankung; feingeschichtete Dolomite und Stromatolithen-Dolomite; sedimentäre Breccien und Trümmer-Rauhwacken (Mürbkalke und Rauhwacken i. e. S. nur in der Süd-Fazies)
- Horizont 1 c: Fossilschutt-Kalke; Mergelkalke
- Horizont 2 a: Kalke und Dolomite mit zentimeter- bis dezimeterdicker Bankung; selten feingeschichtete Dolomite und Stromatolithen-Dolomite; sedimentäre Breccien
- Horizont 2 b: Mergelkalke, z. T. mit Bioturbationsgefüge; Fossilschutt-Kalke und Ostreeen-Kalke; Oolithe und Sphaerocodien-Kalke
- Horizont 2 c: Kalke, vorwiegend mit dezimeterdicker Bankung; Schlickgeröll-Kalke; feingeschichtete Dolomite und Stromatolithen-Dolomite; sedimentäre Breccien und Trümmer-Rauhwacken; Mürbkalke und Rauhwacken i. e. S.

Im folgenden werden nur die typischen Raibler Karbonatgesteine charakterisiert und mit rezenten Vorkommen verglichen. JERZ (1966, S. 36 ff.) und SCHULER (1968, S. 31 ff.) beschreiben die übrigen Arten (s. auch HARSCH 1968, S. 67 ff.).

### Dolomite und Stromatolithen-Dolomite

Die synsedimentäre bis frühdiagenetische Dolomitbildung durch die Einwirkung hochsalinärer Wässer ( $45\% \text{S}$ ,  $\text{Mg/Ca} = 15-30$ ) auf unverfestigte Karbonatsedimente (abgesehen von Oberflächenverkrustungen) in Lagunen und innerhalb des hohen Gezeitenbereichs ist eine gesicherte Tatsache. SIEGEL (1961, S. 127 ff.), FRIEDMAN & SANDERS (1967, S. 276 ff.) und USDOWSKI (1967, S. 44 ff.) stellen diesen Themenkreis ausführlich dar. FÜCHTBAUER & GOLDSCHMIDT (1966, S. 29 ff.) geben Kriterien an, daß sich Dolomite frühdiagenetisch bildeten (sog. F-Dolomite), z. B. Kristallgröße unter 0,01 mm, geringe Fossilführung, Feinschichtung und die horizontale Verbreitung: Dolomite am Beckenrand und Kalke im Beckeninneren.

All diese Merkmale sind an den Dolomiten in den Raibler Schichten zu beobachten: Sie sind Dolomikrite, sehr oft feingeschichtet und immer fossilleer. Sie treten besonders häufig im Nord- und Westteil des Arbeitsgebietes auf, und zwar in den Karbonat-Horizonten 1 b und 2 c, im Horizont 2 c gemeinsam mit Gips (s. Nord- und West-Fazies). Die häufig eingeschalteten sedimentären Breccien mit Dolomitresidiment in kalkiger Matrix beweisen ebenfalls, daß die meisten Raibler Dolomite synsedimentär bis frühdiagenetisch entstanden sind. Ihr Vorkommen markiert paläogeographisch Gebiete, wo das Meer äußerst flach war und evaporitisches Milieu herrschte. FRIEDMAN & SANDERS (1967, S. 267) schlagen vor, die „F-Dolomite“ den Evaporiten zuzuordnen.

Im gleichen bathymetrischen Bereich und Milieu entstanden die Stromatolithen-Dolomite, die ja auch mit den oben beschriebenen Dolomiten gemeinsam auftreten. Die Stromatolithen sind annähernd schichtparallele, „schwammartige“ Gebilde, häufig in der Form abgeflachter Halbkugeln ( $\emptyset$  immer nur wenige mm), die seitlich miteinander verbunden sind (= laterally linked hemispheroids nach LOGAN, REZAK & GINSBURG 1964). LOGAN et al. (S. 77 f.) beschreiben diesen LLH-Typ aus dem mittleren Hochwasserbereich (Watt bis Hochwatt). Er wird von rasenbildenden Blaugrünalgen erzeugt, die Feinsediment binden und in denen Kalk (bis zu 15 %  $\text{MgCO}_3$ , vgl. synsedimentäre Dolomitierung) ausfällt (MONTY 1967).

### Sphaerocodien-Kalke

In den Raibler Schichten sind die Sphaerocodien-Kalke typisch für die klastischen Horizonte 1 a und 2 b. Es handelt sich dabei meistens um ruditische Kalkarenite, in denen außer den Sphaerocodien Ooide, Biogen-Detritus, Resediment und Quarzkörner die häufigsten Komponenten sind.

Die Sphaerocodien in den Raibler Schichten (ROTHPLETZ 1890) sind kalkige, unregelmäßig-wellige, „schaumige“ Umkrustungsschichten um einen Kern aus beliebigem Material. Sie haben einen lappigen Außenrand. An der biogen-mechanischen Karbonatanlagerung sind vor allem Blaugrünalgen und Foraminiferen beteiligt (freundl. mündl. Mitt., Dr. E. OTT, München). Nach LOGAN et al. (1964, S. 68 ff.) sind Sphaerocodien dem ss-Typ der Algen-Stromatolithen zuzuordnen (spheroidal structure), der rezent bei fast ständiger Wasserbedeckung, Wasserbewegung und erhöhter  $\text{CaCO}_3$ -Konzentration entsteht (vgl. GINSBURG 1960, S. 28 ff.). Im Gegensatz dazu sind für die Ooid-Bildung verhältnismäßig stärkere Wasserbewegung und keine ständige Wasserbedeckung notwendig (u. a. PURDY

1963, S. 476 ff.).

Der Mikritanteil am Zwischenmittel der Sphaerocodien-Kalke gibt ebenfalls Anhaltspunkte über ihr Bildungsmilieu. Diesem Kriterium kommt besondere Bedeutung zu, wenn mit Verschwemmung der Komponenten zu rechnen ist. Es gilt dabei ganz allgemein, viel Mikrit (= keine oder geringe Komponentenberührung = offenes Gerüst) zeigt ein ruhigeres Sedimentationsmilieu an als wenig Mikrit, wo die Komponenten sich berühren und ein selbsttragendes (geschlossenes) Gerüst bilden; das Zwischenmittel ist dann ein Spatit (kalzitischer Zement); der Mikrit wurde ausgewaschen und verschwemmt.

Vorkommen und Ausbildung der Sphaerocodien-Kalke geben also Hinweise auf die Ablagerungsbedingungen zur Zeit ihrer Entstehung. In Horizont 1a beschränkt sich ihr Vorkommen auf den Bereich der Zentral-Fazies (Abb. 3). Von hier stammen die Sphaerocodien-Kalke der oberen Sphaerocodien-Bankfolge aus den Profilen 6, 38, 57 und 61, deren sedimentologische Analyse folgendes ergibt (Abb. 2):

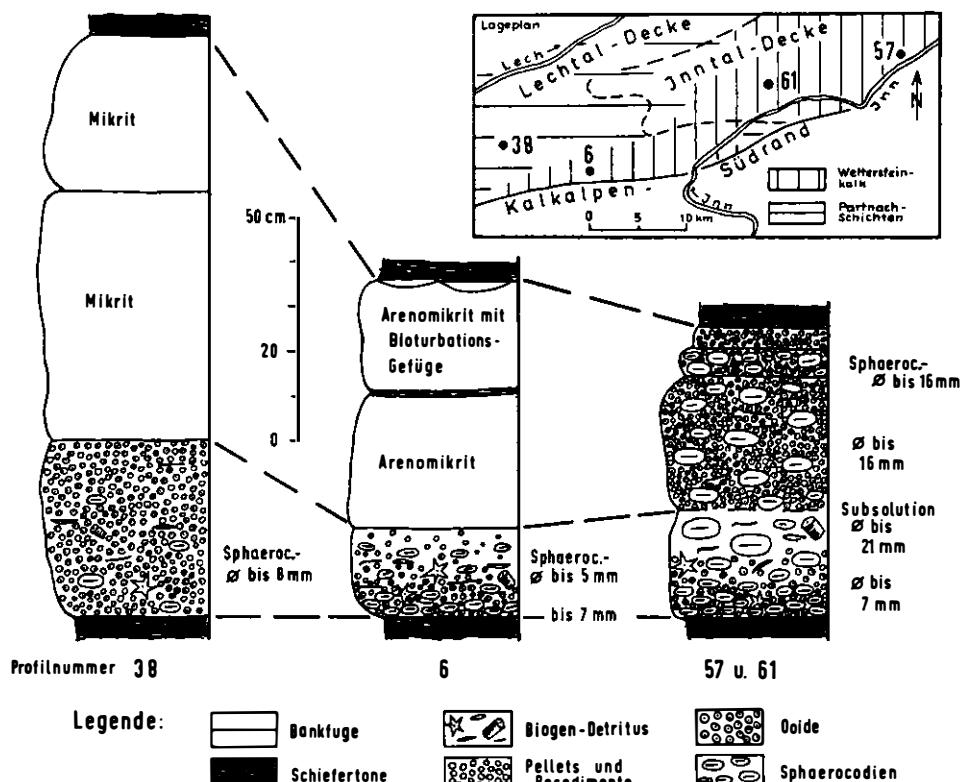


Abbildung 2: Raibler Schichten (Ober-Trias). Die ladinische Faziesverteilung (ob. Mittel-Trias s. Lageplan) beeinflusst die Ausbildung der Sphaerocodien-Bank in Horizont 1a der Raibler Schichten (s. Text S. 261 f.).

Im unteren Teil der liegenden Bank von Profil 6, 57 und 61 bilden Sphaerocodien ( $\phi$  bis 7 mm), Ooide, untergeordnet Biogene, Pellets und Resedimente ein selbsttragendes Gerüst. Das Zwischenmittel ist ein Spatit. Nach oben wird er

zunehmend durch Mikrit ersetzt; die Ooide treten zurück; die Sphaerocodien sind durchschnittlich größer; die Komponenten berühren sich seltener. Es herrschte nur noch geringe Umlagerung; die Wasserbewegung hatte nachgelassen; der Meeresspiegel war ein wenig angestiegen.

In den beiden oberen Bänken von Profil 57 und 61 bilden die Komponenten (25% Ooide) wieder ein geschlossenes Gerüst. Es herrschte also wieder geringe Wassertiefe und turbulentes Wasser. (In Profil 57 sind an der Grenze zur liegenden Bank Kalkauflösung und eine dünne Limonitkruste zu sehen. Das spricht für eine kurzzeitige Sedimentationsunterbrechung, während der die liegende Kalkschlamm verhärtete. VOIGT [1959, S. 145] bringt die Entstehung solcher Hartgründe mit Hebung in Zusammenhang. Die eigenen Beobachtungen bestätigen das, denn auf die Sedimentationsunterbrechung folgte eine Zeit, in der das Wasser weniger tief und turbulent war als vorher [s. o.].) Die beiden oberen Bänke in Profil 6 sind Arenomikrite; sie wurden in etwas tieferem und weniger bewegtem Wasser sedimentiert als die entsprechenden Bänke von Profil 57 und 61.

Die liegende Bank von Profil 38 besteht überwiegend aus Ooiden, Sphaerocodien und Biogendetritus (Abb. 2). Das Zwischenmittel ist ein Spatit. Darüber liegen zwei Mikrit-Bänke. Insgesamt sind die Sedimentationsverhältnisse mit denen von Profil 6 zu vergleichen.

Im Gebiet der Zentral-Fazies über Wettersteinkalk (Profil 57 und 61, s. Abb. 1 und Lageplan Abb. 2) können wir also für die Horizont-1a-Zeit generell bewegtes Flachwasser mit einer Wassertiefe von 0 bis max. — 5 m annehmen. Im Westen, dort, wo während des Ladins die zentrale Wetterstein-Riffplatte endete (Profil 6) und das nördlich gelegene Partnach-Becken flacher wurde (s. S. 257 und S. 267), waren im unteren Karn die Ablagerungsbedingungen etwas ruhiger, das Meer vielleicht etwas tiefer als auf der ehemaligen Riffplatte. Im Norden muß das Meer wesentlich tiefer gewesen sein, denn hier gibt es in Horizont 1a gar keine Sphaerocodien-Kalke. Im Ladin breitete sich hier das Partnach-Becken aus. Möglicherweise war also im unteren Karn das ladinische, submarine Relief noch vorhanden (s. S. 268).

Auch im Nord- und Westteil des betrachteten Ablagerungsraumes fehlen in Horizont 1a die Sphaerocodien-Kalke (s. Nord- und West-Fazies). Der Horizont 1a ist sehr sandsteinreich; im Norden enthält er bis zu 1,5 m dicke Kohleflöze (vgl. SCHMIDEGG 1955). Es wird angenommen, daß das Meer in diesen Gebieten sehr flach war. Gebietsweise gab es Sandplatten und -bänke mit reicher Vegetation. Die starke Einschwemmung terrigenen Materials verschmutzte außerdem das Wasser und lieferte viel mehr Umkrustungskerne als notwendig. Das zugleich eindringende, sedimentliefernde Flußwasser verminderte den Sättigungsgrad des Meerwassers an  $\text{CaCO}_3$ . Infolgedessen waren dort die Umstände für die Entstehung von Sphaerocodien-Kalken nicht geeignet.

Die oben beschriebene morphologische Gliederung des Meeresbodens existierte im höheren Karn nicht mehr, denn im gesamten Bereich der Zentral-Fazies kommen in Horizont 2b Kalkbänke vor, die reichlich Sphaerocodien und Ooide führen (Abb. 1). Im Bereich der West-Fazies dominierte wiederum die Sedimentation festländischer Verwitterungsprodukte. Eine Ausnahme stellt ein horizont-beständiger, ausgereifter Oolith dar (= „2. Gelbe Bank“ HARSCH 1968, Taf. 10), der auch für diese Gebiete und diese Zeit sehr flaches Wasser anzeigt.

### Ostreeen-Kalke

Austern leben heute in wenig tiefem und warmem Wasser (zum Brüten mind. 15° C), und zwar dort, wo geringe Sedimentation, geringe Verschmutzung und ruhiges Wasser (wenig Brandung) ist. Sie können dann ca. 50 cm dicke Bänke aufbauen (freundl. mündl. Mitt. Dr. D. HERM, München).

Die Lumachellen-Kalke im klastischen Horizont 2 b bestehen vielerorts fast ausschließlich aus Schalen von *Ostrea montis caprilis* KLIPST. (Verbreitung der Ostreeen-Kalke s. Abb. 1). Sie sind selten dicker als 10 cm und können auf wenige Meter auskeilen. Die Schalen befinden sich nicht mehr in Lebensstellung, sondern sind umlagert, oft zerbrochen und liegen in den Kalken, etwa schichtparallel, häufig mit ihrer konvexen, berippten Seite nach oben. Sie sind manchmal von Algen umkrustet.

Das alles spricht für ein wechselhaftes, unbeständiges Flachwassermilieu, in dem die Lebensbedingungen für die Austern nicht besonders günstig waren. Da sie ausschließlich in Horizont 2 b vorkommen, mag es im oberen Karn durchschnittlich wärmer gewesen sein als im unteren.

### Rauhwacken

Die Bezeichnung Rauhwacke wird vom kartierenden Geologen ganz allgemein für zellig-löcherige Karbonatgesteine verwendet. BRUNNSCHWEILER (1948, S. 102 ff.) unterscheidet in der helvetischen Trias der Glarner Alpen sieben Rauhwacken-Typen:

- |                               |                     |
|-------------------------------|---------------------|
| a) monomikte Trümmerrauhwacke | d) Netzrauhwacke    |
| b) polymikte Trümmerrauhwacke | e) Gipsrauhwacke    |
| c) Fetzenrauhwacke            | f) Bänderrauhwacke  |
|                               | g) Bröckelrauhwacke |

Unter Benutzung dieser Unterteilung wird für a), b) und c) die vereinfachte Gruppenbezeichnung Trümmer-Rauhwacke, für d) und g) Rauhwacke i. e. S. verwendet; e) und f) sind in den Raibler Schichten des Untersuchungsgebietes nicht vertreten. Da Trümmer-Rauhwacken und Rauhwacken i. e. S. gemeinsam auftreten können, ist eine exakte Abgrenzung beider Typen manchmal schwierig, desgleichen von tektonischen Breccien, weil Rauhwackengesteine eingeschaltet zwischen Kalke oder Dolomite Schwächezonen darstellen und daher Tektonik häufig zu ihrer Entstehung beigetragen hat.

Die Trümmer-Rauhwacken sind monomikte oder polymikte Breccien, gelegentlich mit Schieferton-„Fetzen“, mit kalkigem, oft gelb anwitterndem Bindemittel. Die eckigen, allenfalls kantengerundeten Bruchstücke sind zentimeter- bis dezimetergroß, erreichen jedoch manchmal Meterausmaß („Riesenbreccien“). Sie wittern heraus. Dadurch entsteht die löcherige, rauhwackenartige Beschaffenheit des Gesteins. Schichtung ist selten und undeutlich. Die Trümmer-Rauhwacken sind nicht niveaubeständig. Sie können, wie z. B. in den Klostertaler Alpen, innerhalb eines Kilometers von wenigen Metern auf 80 m anschwellen.

Die Entstehung eines solchen Gesteins läßt sich folgendermaßen erklären: Auf einem Meeresboden, der durch lokal wechselnd starke Setzung uneben war, kam es — vielleicht ausgelöst durch Sturmflut, Beben o. ä. — zu lateralen Gleitvorgängen von Sediment, das teilweise diagenetisch verhärtet war und nun ein zweites Mal sedimentiert wurde. Die Trümmer-Rauhwacke ist also eine resedimentäre Bildung. Sie erhält durch rezente Verwitterung ihren Rauhwacken-Habitus.

Die Rauhwacke i. e. S. ist ein ungeschichtetes, inhomogenes, löcherig-zelliges Karbonatgestein mit hellgrauer bis gelblichgrauer Verwitterungsfarbe. Aus den fast immer eckigen, zentimetergroßen Löchern ist die Füllung, ein hellgraues, „mehliges“ Material, meist herausgewittert. Es besteht aus dolomitischem Kalk, wie 10 Karbonatanalysen, ergänzt durch DTA-Aufnahmen, ergaben. Die Grundmasse des Gesteins ist Kalk, manchmal mit Dolomitgehalten. Gips wurde nicht festgestellt.

Das Vorkommen der Rauhwacken i. e. S. ist auf den Horizont 2 c beschränkt (Ausnahme „Süd-Fazies“), und außerdem treten sie in den westlichen Nordalpen nur westlich der NE-verlaufenden Linie Schwaz (Inntal) — Bad Reichenhall auf (SCHULER 1968, Abb. 18). In engem Zusammenhang damit steht offensichtlich die Verbreitung von Gips in den Raibler Schichten: Auch dieser findet sich nur in Horizont 2 c und in regionaler Hinsicht nur westlich einer Grenze, die, etwas weiter im Nordwesten gelegen, parallel zur Rauhwacken-Grenze, die westlichen Nordalpen durchquert (Abb. 1). Dieser Zusammenhang deutet auf eine genetisch-paläogeographische Verknüpfung beider Gesteinsarten.

Insgesamt zeigt sich für den Karbonat-Horizont 2 c im Westteil der Nordalpen folgende Verteilung an: östlich der Linie Schwarz—Bad Reichenhall herrschen Dolomite vor, westlich davon kommen Rauhwacken hinzu, zunächst gering mächtig, dann weiter im Norden und Westen ca. 100 m dick (SCHULER 1968, Abb. 18); noch weiter westlich erscheint dann Gips, der im Bereich der West-Fazies lokal 200 m und mehr mächtig wird. Es handelt sich also um ein deutliches salinar-lagunäres Faziesschema, das für das oberste Karn zunehmende Evaporation nach W und NW anzeigt. Hieraus folgt, daß diese westlichen und nordwestlichen Gebiete im höheren Karn am weitesten vom offenen Meer entfernt lagen; die westlichen Grenzen des oberostalpinen, karnischen Sedimentationsraumes zeichnen sich ab.

Die eben geschilderten, regional-faziellen und paläogeographischen Verhältnisse bestätigen die petrogenetischen Vorstellungen von BRÜCKNER (1941) und HEIERLI (1955). Danach ist die Rauhwacke i. e. S. ursprünglich ein Dolomit-Gips-Gestein, dessen Gefüge durch Volumenveränderungen bei der Umwandlung von Gips in Anhydrit und umgekehrt zerstört wurde. Bodenunruhen und subaquatische Rutschungen können zu der Bildung dieser Dolomit-Gips-Breccie beigetragen haben. Meeresströmungen, verursacht durch Temperaturgefälle oder unterschiedliche Salzkonzentrationen, mögen ebenfalls eine Rolle gespielt haben. Dabei ist verständlich, daß spätere tektonische Bewegungen die Breccienbildung gerade in solch wenig widerstandsfähigem Gestein wie ein Gemisch aus Dolomit und Gips weitertrieben.

Nach BRÜCKNER (1941) wird in dieser Dolomit-Gips-Breccie im Wirkungsbereich der Oberflächenwässer Gips durch Kalzit ersetzt (= Hohlraumfüllungen). Unter Mitwirkung der dabei entstehenden Schwefelsäure wird der Dolomit durch Kalk ersetzt (= Kalkgerüst, manchmal noch etwas dolomitisch). Diese chemische Umsetzung erklärt vielleicht Bittersalz-Ausblühungen, wie sie AMPFERER (1932 b, S. 44) beschreibt.

Nach diesen Vorstellungen sind die Rauhwacken i. e. S. also aus Sedimenten hervorgegangen, die unter salinar-lagunären und resedimentbildenden Bedingungen entstanden sind. Ihr löcherig-zelliges Aussehen erhalten sie erst in subrezenter posttektonischer Zeit. Unter ähnlichen Verhältnissen bildeten sich die Gesteinsarten, die von mir beschreibend als mürbe Kalke, Mürbkalke und löcherige Kalke bezeichnet werden.

#### IV. Sedimentologie und Faziesentwicklung

Die Ablagerungsbedingungen während des vorausgegangenen Ladins waren sehr unterschiedlich und führten zu den drei gleichalten, in sich keineswegs homogenen Faziesausbildungen Wettersteinkalk, Partnachsichten und Arlberg-schichten (Verbreitung s. Abb. 3).

SARNTHEIN (1965, S. 143, und 1966, S. 56) beschreibt den Ablagerungsraum des oberen Wettersteinkalks als eine flache, warme Rifflagune mit Zugängen zum freien Meer und abgeschlossenen Gebieten. Kurzzeitige Inselbildungen bereicherten das paläogeographische Bild (vgl. ZANKL 1967, S. 135). Neben lebensfreundlichen, gut durchlüfteten Arealen lagen Gebiete, in denen höher saline und lebensfeindlichere Faziesbedingungen vorherrschten. Stellenweise kann auch Brackwasser vorhanden gewesen sein.

Auf den tieferen Teilen des Meeresbodens, zwischen den Wetterstein-Riffen, setzten sich die Partnachsichten ab („Beckenfazies“). Die Sedimentation war langsam und gleichförmig. Die Lebensbedingungen waren in dem vorwiegend reduzierenden Milieu schlecht. Die auftretenden Kalkmikrite sprechen für Stillwasser-Fazies (u. a. SARNTHEIN 1965, S. 150 f.).

An dieses in Untiefen und Becken gegliederte Meeresgebiet schloß sich im Westen der Ablagerungsbereich der Arlberg-schichten an. Das Wasser war hier flach, warm, schlecht durchlüftet und wenig bewegt bis stagnierend (HIRSCH 1966, S. 57). Die Ursache muß also außerhalb unseres heutigen Beobachtungstonreichen Lagen sprechen für Entstehung im höheren Gezeitenbereich. Die Ausbildung der Arlberg-schichten östlich von Lech weist für dort sogar auf das vorübergehende Bestehen einer Insel hin (s. S. 258).

Die plötzlich einsetzende Ton- und Sandsedimentation, mit der die Raibler Schichten beginnen, bedeutet eine weitreichende Änderung der paläogeographischen Verhältnisse. Vorläufer oder erste Anzeichen für diesen Umschwung sind in den eben beschriebenen, älteren Ablagerungen nicht zu finden (SARNTHEIN 1966, S. 57). Die Ursache muß also außerhalb unseres heutigen Beobachtungsbereiches gesucht werden. Wahrscheinlich haben epirogenetische Bewegungen in den damals angrenzenden Festländern verstärkte Abtragung und Terrigen-Anlieferung ins karnische Meer bewirkt. Dieses selbst könnte sich dabei sogar

ausgedehnt haben.<sup>2)</sup> Falls das zutrifft, braucht man nicht unbedingt für die einzelnen klastischen Schüttungen in den Raibler Schichten einen Wechsel zu niederschlagsreicherem Klima anzunehmen (HARSCH 1968, S. 109).

Wenn auch die Ablagerung von festländischem Detritus nicht grundsätzlich Korallenwachstum verhindern muß (vgl. Korallenfauna in den Kössener Schichten und den Zlambach-Schichten), so ist im vorliegenden Fall doch anzunehmen, daß seine reichliche und weit verbreitete Einschwemmung mit Beginn der Raibler Schichten für das Absterben der Wetterstein-Riffe ausschlaggebend war. Unterstützt wurde das vielleicht noch durch eine Änderung der ladinischen Senkungs-tendenzen, denn für Riffwachstum nach oben ist an sich stetige Absenkung erforderlich. Eine durchgreifende Klimaverschlechterung zu Beginn des Karns, welche die Riffe verkümmern ließ, scheint nicht vorzuliegen (vgl. karnische Korallenfauna im Aflenzer Faziesbereich).

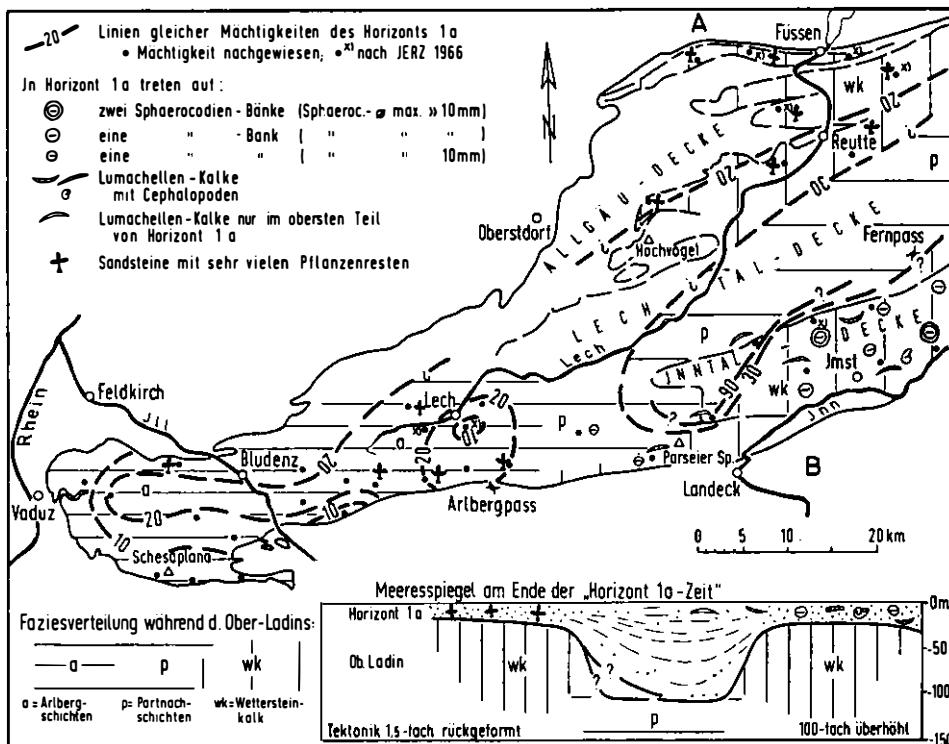


Abbildung 3: Raibler Schichten (Ober-Trias). Zusammenhang zwischen Mächtigkeit sowie Ausbildung des Horizonts 1a der Raibler Schichten und der Faziesverteilung der ladinischen Gesteinsfolge (ob. Mittel-Trias); siehe Text S. 267.

<sup>2)</sup> Vgl. MARSCHALKO & PULEC (1968, S. 333 ff.), die den Flyschcharakter der Raibler Schichten in den Karpaten mit einer verstärkten Hebung der umliegenden Festländer und einer Absenkung des Sedimentationsraums erklären.

Trotz der Reichweite und Stärke des von den Raibler Schichten angezeigten Umschwungs prägte zunächst das durch die ladinische Faziesverteilung entstandene submarine Relief die Ausbildung bzw. die Sedimentationsbedingungen des Horizonts 1 a der Raibler Schichten:

1. Zwischen Fernpaß und Lech, wo vorher das Partnach-Becken war, beträgt die Mächtigkeit des Horizonts 1 a 90 m und mehr, auf der im Norden und Süden gelegenen Wetterstein-Riffplatte und in den westlichen Randbereichen (Arlberg-schichten) dagegen höchstens 30 m (Abb. 3; vgl. SARNTHEIN 1967, S. 122).

2. Über dem Wettersteinkalk findet man im Horizont 1 a viel größere Psammitanteile als über den Partnachsichten. Das Wasser war flacher und turbulenter als in den Beckenbereichen, so daß nur der geringere Teil der Pelite sich ablagerte, während der größere in Suspension blieb und in den Bereichen mit tieferem und ruhigerem Wasser, nämlich über den Partnachsichten, abgesetzt wurde. (Dabei ist nicht auszuschließen, daß einzelne Wettersteinkalk-Riffe noch etwas weiterwuchsen, als in manchen Teilen des Partnach-Bekens schon die Sedimentation der Raibler Schichten begonnen hatte.) In den Flachwassergebieten im Norden (= Wettersteinkalk-Vorkommen in der Lechtal-Decke) und Westen (= Arlbergschichten) dominieren die Psammite vor allem wegen der Nähe zu den festländischen Liefengebieten.

3. Da, wo der Horizont 1 a auf Wettersteinkalk oder auch auf Arlberg-schichten liegt, zeigen seine Sandsteine bankinterne Gefüge, wie Kleinrippel-schichtung, ebene Feinschichtung sowie Flaser- und Linsenschichtung (HARSCH 1968, S. 66 f.). Solche Gefüge entstehen in bewegtem Flachwasser (in der Nordsee bis ca. 30 m, REINECK 1963). Sie fehlen jedoch dort, wo der Horizont 1 a über den Partnachsichten ansteht.

4. Auch die Verbreitung und Ausbildung der Sphaerocodien-Kalke im Horizont 1 a beweisen das Fortbestehen des ladinischen submarinen Reliefs während der frühen Raibler Zeit (s. S. 261 f. und Abb. 3).

5. Die ökologischen Bedingungen waren diesen Verhältnissen ebenfalls angepaßt. Der Mikrofossilgehalt der Raibler Schiefertone über den Partnachschiefern steigt zwar sprunghaft an, da die Lebensbedingungen sich offenbar generell mit den festländischen Einschwemmungen verbesserten (bessere Durchlüftung, reichlichere Nahrungszufuhr, JERZ 1966, S. 76). Sie waren aber in den zentralen Hochgebieten noch besser, denn diese wurden zusätzlich von Muscheln, Schnecken, Ammoniten, Schwämmen etc. und inkrustierenden Organismen (s. Pkt. 4) besiedelt (Abb. 3). Die Fossilschutt- und Sphaerocodien-Kalke fehlen in den Flachwassergebieten im Norden und Westen (Ursache s. S. 262).

Im Verlauf der Ablagerungszeit von Horizont 1 a verminderten sich diese Gegensätze. Durch Zuschütten der Beckenbereiche wurde das aus dem Ladin überlieferte Meeresbodenrelief weitgehend ausgeglichen, denn gegen Ende von Horizont 1 a paßten sich Litho- und Biofazies der „Tiefenbezirke“ den Bedingungen der „Hochgebiete“ an. Es gibt nämlich in den obersten Teilen dieses Horizonts, auch da, wo er über Partnachsichten liegt, größere Sandsteine und Fossilschutt-Kalke (Profil A—B in Abb. 3). SCHULER (1968, S. 13) beschreibt aus diesem Niveau Kalke mit kleinwüchsigen Sphaerocodien (vgl. auch im folgenden Verbreitung der „Gelbkalke“ zu Beginn von Horizont 1 b).

Zusammenfassend kann also über die Ablagerungszeit der ältesten Raibler Schichten gesagt werden: Litho- und Biofazies wurden insbesondere von einem ererbten submarinen Relief bestimmt und außerdem, von der Lage zu den klastischen Einschüttungszentren im Norden, Westen und Süden, die sich vor allem durch schwermineralogische Untersuchungen nachweisen lassen (HARSCH 1968).

Da nur über Wettersteinkalk und Arlbergschichten bereits zu Beginn des Karns das Wasser flach war und erst nach der Ablagerungszeit von Horizont 1 a überall geringe Wassertiefe herrschte (s. o.), ergibt die Differenz zwischen Mächtigkeit von Horizont 1 a über Partnachschichten und der über Wettersteinkalk einen Anhaltspunkt über den relativen Höhenunterschied, der für das submarine Relief zu Beginn des Karns angenommen werden kann, also nordwestlich von Imst ca. 80 m (vgl. Profil A—B auf Abb. 3).

Am stärksten ausgeprägt war dieses Relief im Bereich der Wamberger Sattelzone östlich von Garmisch (Abb. 4: Gesamtmächtigkeit 550 m), wo Horizont 1 a 140 m dick ist, auf dem benachbarten Wetterstein-Riff jedoch nur 25 m (Gesamtmächtigkeit: 420 m; alles nach JERZ 1966, S. 23). Außer den starken Senkungstendenzen des Meeresbodens, die hier herrschten (s. S. 269 f.), führte die Notwendigkeit, daß zunächst ein Relief mit rel. Höhenunterschieden von über 100 m verfüllt werden mußte, zu den großen Mächtigkeiten der Raibler Schichten.

Der Horizont 1 b beginnt in den meisten Profilen mit einem gelben, mergeligen Bioturbations-Kalk, dem sog. Gelbkalk (s. S. 259). Im Westen tritt an seine Stelle bezeichnenderweise ein Kalksandstein mit Wühlgefüge. Die große Verbreitung der „Gelkalke“ (nach Osten zumindest bis zur Salzach, s. SCHULER 1968, S. 33) spricht für gleichförmiges Ablagerungsmilieu an der Wende von Horizont 1 a zu 1 b in weiten Teilen des nordalpinen Meeres (s. o.).

Über dem „Gelbkalk“ besteht der größte Teil des Horizonts 1 b aus laminierten Dolomiten und Stromatolithen-Dolomiten. Ihre Dolomitisierung dürfte synsedimentär bis frühdiagenetisch sein. Ihre große Fossilarmut und die erhaltene Feinschichtung deuten auf schlechte Lebensbedingungen in ruhigem Wasser. Stromatolithenwachstum und frühdiagenetische Dolomitisierung sind vor allem aus Meeresgebieten bekannt, die über der mittleren Hochwasserlinie liegen (s. S. 260).

Daraus ergibt sich: Auf eine Zeit klastischer Sedimentation in einem morphologisch gegliederten Ablagerungsraum folgt ein Zeitabschnitt, in dem das Meer im ganzen Westteil der Nördlichen Kalkalpen sehr flach war. Die Salinität hatte zugenommen. Die ökologischen Verhältnisse waren schlechter als vorher. Diese Verhältnisse bleiben ohne große Veränderung auch in der Ablagerungs-Zeit des Horizonts 2 a bestehen. Stillwasserbereiche mit etwas tieferem Wasser gab es vor allem in den zentralen Teilen des Untersuchungsgebietes, wie die dort häufigen Kalkmikrite anzeigen.

In den Gebieten der Zentral-, Süd- und West-Fazies ist zwischen den Karbonat-Horizonten 1 b und 2 a der klastische Horizont 1 c zwischengeschaltet (Abb. 1). Seine Verbreitung spricht für eine kurzzeitige, terrigene Sedimentanlieferung aus dem Westen und Süden. Er enthält Lumachellen- und Echinodermen-Spatkalke, die für verbesserte Lebensverhältnisse in diesen Fazies-Bereichen sprechen.

Die Ausbildung und Verbreitung des klastischen Horizonts 2b, der nur in den Profilen am Kalkalpen-Nordrand fehlt (Abb. 1), zeigen für seine Ablagerungszeit ebenfalls eine Sedimentschüttung aus dem Westen und Süden an. Die damit verbundene Nahrungszufuhr und gute Durchlüftung führten zur stärksten faunistischen Belebung des karnischen Meeres, wovon die sehr häufig eingeschalteten Fossilschutt-Kalke, Ostreeen-Kalke und Sphaerocodien-Kalke Zeugnis ablegen (Verbreitung s. Abb. 1).

Austern und inkrustierende Organismen siedelten sich im Westen wegen der zu starken festländischen Einschwemmungen nicht an. Es gibt dort nur wenige, und wenn, dann nur dünne Fossilschutt-Lagen. Am Nordrand lagerten sich seit der Sand- und Ton-Sedimentation von Horizont 1a nur noch Karbonate, vor allem Dolomite, ab, im höchsten Karn außerdem Sulfatgesteine (s. u.). Die bionomischen Verhältnisse waren dort während des Karns immer schlecht.

Der Karbonat-Horizont 2c beginnt mit Kalkareniten, die in den zentralen und westlichen Teilen des Arbeitsgebietes noch bis zu zweimal durch kurzfristige terrigene Einschaltungen unterbrochen werden. Ca. 10 m über Horizont 2b treten in Horizont 2c sog. Schlickgeröll-Kalke auf (JERZ 1966, S. 57, SCHULER 1968, S. 36, und HARSCH 1968, S. 78 f.). Ihre große Verbreitung und Horizontbeständigkeit lassen als Ursache für ihre Bildung ein regionales Ereignis vermuten (Sturmflut oder Erdbeben).

Nach oben nehmen im Horizont 2c Dolomite, Rauhwacken und Evaporite überhand. Das Vorherrschen dieser salinar-lagunären Fazies bedeutet, daß weite Teile des betrachteten Ablagerungsraumes gegen Ende des Karns äußerst flach wurden. Gebietsweise waren sie sogar trocken gefallen; anderenorts bildeten sich Eindampfungspfannen, in denen mächtige Sulfatlager entstanden. Die ökologischen Bedingungen waren sehr schlecht.

Erst mit Beginn der Ablagerungszeit des Hauptdolomits überflutete das Meer wiederum überall den nordalpinen Sedimentationsraum. Die Wassertiefe war gering. Der meist gleichförmige Hauptdolomit mit einer artenarmen individuenreichen Fauna spricht für ökologisch einseitige, lagunenartige Verhältnisse. Im Westen, im Rätikon, beginnt er mit einer bunten Sedimentärbreccie, der sog. Hauptdolomit-Basisbreccie (1—3 m); sie markiert wahrscheinlich Trockenlegungsbereiche während des obersten Karns (s. o.).

## V. Beziehungen zwischen Sedimentationsraum und Mächtigkeiten der Raibler Schichten

Die Gesamtmächtigkeit der Raibler Schichten schwankt im Westteil der Nördlichen Kalkalpen sehr stark zwischen weniger als 100 m und 550 m (Abb. 4). Das ist überwiegend durch differenzierte Absenkungsbewegungen des Meeresbodens zu erklären, denn das karnische Meer war ja in allen Teilen sehr flach (s. Absch. IV, ausgenommen lediglich die Zeit der Ablagerung von Horizont 1a, s. S. 265 ff.).

Im Großen zeigt sich, daß die Raibler Schichten von ca. 100 m im Norden auf max. 550 m in den zentralen Bereichen zunehmen. Gegen Süden sinkt ihre Mächtigkeit auf 100—150 m ab. Die Zone mit den größeren Mächtigkeiten liegt östlich

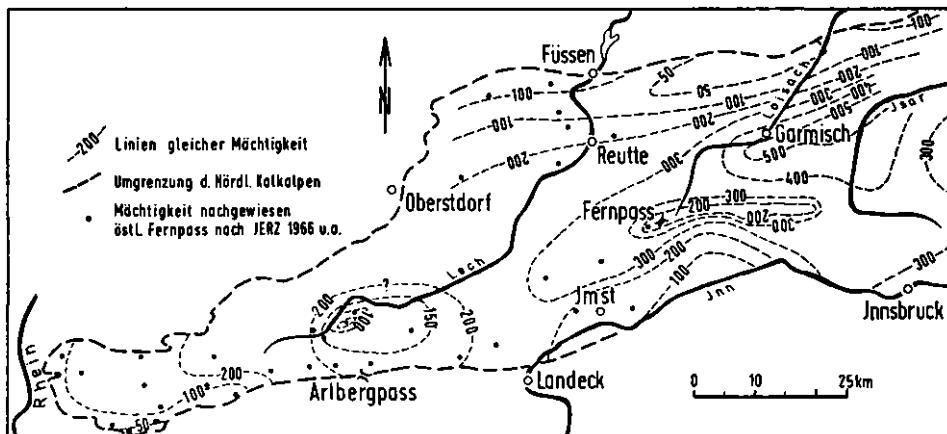


Abbildung 4: Raibler Schichten (Ober-Trias). Gesamtmächtigkeiten der Raibler Schichten in Linien gleicher Mächtigkeit, östlich des Fernpaß nach JERZ 1966 und ENDERS 1967. Die Karte ergänzt die Isopachenkarte von SCHULER 1968, Abb. 15 nach Westen.

von Garmisch (s. S. 268). Sie läßt sich sowohl nach Ostnordosten (SCHULER 1968, S. 48) als auch nach Westsüdwesten bis ins Heiterwandgebiet südlich Reutte verfolgen (Abb. 4).

Westlich des Meridians von Landeck sind die Raibler Schichten 200 bis 250 m mächtig. Ganz im Westen nimmt ihre Mächtigkeit auf 100 m ab; lokal beträgt sie nur 50 m (Abb. 4). Sowohl der Isopachen-Verlauf als auch die Faziesverhältnisse (s. S. 258 f. und Absch. IV) deuten darauf hin, daß hier die heutige Umgrenzung der Nördlichen Kalkalpen annähernd dem Umriß des Küstensaumes zu den Ablagerungen aus karnischer Zeit folgt. Dagegen überschneidet sich der nordwestliche Kalkalpen-Rand zwischen westlich Füssen und Rhein mit den Isopachen, die sich nördlich von ihm zu schließen scheinen. Dieser Abschnitt des Kalkalpen-Randes ist also weniger paläogeographisch vorgegeben.

Insgesamt zeigt die Verteilung der Gesamtmächtigkeiten der Raibler Schichten, daß die heutige Umgrenzung des betrachteten Kalkalpenabschnittes paläogeographisch vorgezeichnet ist, wenn auch der Ablagerungsraum der Raibler Schichten im untersuchten Kalkalpenabschnitt nicht mehr seine ursprüngliche natürliche Begrenzung besitzt, die alpidische Tektonik das Sedimentpaket verfaltet, gebietsweise überschoben und als Ganzes nach Norden verfrachtet hat und zudem vor allem der Nord- und der Südrand der Kalkalpen tektonisch und später erosiv reduziert worden sind.

#### Schriften

- AMPFERER, O.: Erläuterungen zu den Geologischen Karten der Lechtaler Alpen 1 : 25 000. Mit Beiträgen von W. HAMMER. — Wien (Geol. B.-A.) 1932.
- ANGERMEIER, H. O., A. PÖSCHL & H. J. SCHNEIDER: Die Gliederung der Raibler Schichten und die Ausbildung ihrer Liegengrenze in der „Tirolischen Einheit“ der östlichen Chiemgauer Alpen. — Mitt. Bayer. Staatssamml. Paläont. hist. Geol., 3, 83—105, München 1963.

- BITTNER, A.: Zur neueren Literatur der alpinen Trias. — *Jb. Geol. R.-A.*, **44**, 233—379, Wien 1894.
- BRÜCKNER, W.: Über die Entstehung der Rauhwacken und Zellendolomite. — *Eclogae geol. Helv.*, **34**, 117—134, Basel 1941.
- BRUNNSCHWEILER, R.: Beiträge zur Kenntnis der Helvetischen Trias östlich des Klausenpasses. — *Diss. Univ. Zürich* 1948.
- ENDERS, P.: Zur Geologie des Gaistals zwischen Wetterstein- und Mieminger-Gebirge (Tirol). — *Dipl.-Arb. TH München* 1967.
- FRIEDMAN, G. M., & J. E. SANDERS: Origin and occurrence of dolostones. — in: *Carbonate rocks. Origin, occurrence and classification*. — ed. G. V. CHILINGAR, H. J. BISSEL & R. W. FAIRBRIDGE. — Develop. in *Sedimentology*, **9 A**, 267—348, Amsterdam-London-N. York (Elsevier) 1967.
- FÜCHTBAUER, H., & H. GOLDSCHMIDT: Beziehungen zwischen Kalziumgehalt und Bildungsbedingungen der Dolomite. — *Geol. Rdsch.*, **55**, 29—40, Stuttgart 1966.
- GINSBURG, R. N.: Ancient analogues of recent stromatolites. — XXI. Internat. Geol. Congr., part 22, 26—35, Copenhagen 1960.
- HARSCH, W.: Lithofazielle, sedimentologische und paläogeographische Untersuchungen in den Raibler Schichten der Nördlichen Kalkalpen zwischen Fernpaß und Rhein sowie verschiedener Vorkommen in Graubünden. — *Diss. TH. München* 1968.
- HEIERLI, H.: Geologische Untersuchungen in der Albulazone zwischen Crap Alv und Cinuos-chel (Graubünden). — *Beiträge geol. Karte Schweiz, N. F.*, **101**. Lief., 105 S., Bern 1955.
- HIRSCH, F.: Étude stratigraphique du Trias moyen de la région de l'Arlberg (Alpes du Lechtal, Autriche). — *Diss. ETH Zürich* 1966.
- JERZ, H.: Zur Paläogeographie der Raibler Schichten in den westlichen Nordalpen. — *Z. Deutsch. Geol. Ges.*, **116**, 427—439, Hannover 1965.
- JERZ, H.: Untersuchungen über Stoffbestand, Bildungsbedingungen und Paläogeographie der Raibler Schichten zwischen Ledi und Inn (Nördliche Kalkalpen). — *Geologica Bavarica*, **56**, 3—102, München 1966.
- KRAUS, O.: Die Raibler Schichten des Drauzuges (Südliche Kalkalpen). Lithofazielle, sedimentpetrographische und paläogeographische Untersuchungen. — *Diss. TH. München* 1968 (in Druckvorbereitung *Jb. Geol. B.-A. Wien*).
- KRAUS, O., & E. OTT: Eine ladinische Riff-Fauna im Dobratsch-Gipfelkalk (Kärnten, Österreich) und Bemerkungen zum Faziesvergleich von Nordalpen und Drauzug. — *Mitt. Bayer. Staatssamml. Paläont. hist. Geol.*, **8**, 263—290, München 1968.
- KRAUS, O., & P. SCHMIDT-THOMÉ: Faziesverteilung in der alpinen Trias des Heiterwand-Gebietes (östliche Lechtaler Alpen, Tirol). — *N. Jb. Geol. Paläont., Mh.*, **1967**, 117—127, Stuttgart 1967.
- LOGAN, B. R., R. REZAK & R. N. GINSBURG: Classification and environmental significance of algal stromatolites. — *Jour. Geology*, **72**, 68—83, Chicago 1964.
- MARSCHALKO, W., & M. PULEC: Sedimentology of the lunz beds. — *Geol. sborn. Slov. Akad. vied. XVIII*, 2, 1967, 331—344, Bratislava 1968.
- MONTY, C. L. V.: Distribution and structure of recent stromatolitic algal mats, eastern Andros Inland, Bahamas. — *Ann. Soc. Géologique de Belgique*, **90**, 1966—1967, Bull. 3, 55—100, 1967.

- PURDY, E. G.: Recent calcium carbonate facies of the Great Bahama Bank. 1. Petrography and reaction groups. 2. Sedimentary facies. — Jour. Geology, **71**, 3, 334—355 und 4, 472—497, Chicago 1963.
- REINECK, H. E.: Sedimentgefüge im Bereich der südlichen Nordsee. — Abh. senkenb. naturf. Ges., **505**, 1—138, Frankfurt a. M. 1963.
- ROTHPLETZ, A.: Über Sphaerocodium Bornemann, eine neue fossile Kalkalge aus den Raibler Schichten der Ostalpen. — Bot. Cbl., **41**, H. 9, Cassel 1890.
- SARNTHEIN, M.: Sedimentologische Profilreihen aus den mitteltriadischen Karbonatgesteinen der Kalkalpen nördlich und südlich von Innsbruck. — Verh. Geol. B.-A., 1965, H. 1/2, 119—162, Wien 1965.
- SARNTHEIN, M.: Sedimentologische Profilreihen aus den mitteltriadischen Karbonatgesteinen der Kalkalpen nördlich und südlich von Innsbruck. I. Fortsetzung. — Ber. Nat.-Med. Ver. Innsbruck, **54**, 33—59, Innsbruck 1966.
- SARNTHEIN, M.: Versuch einer Rekonstruktion der mitteltriadischen Paläogeographie um Innsbruck, Österreich. — Geol. Rdsch., **56**, 116—127, Stuttgart 1967.
- SCHMIDEGG, O.: Gips und andere Bodenschätzze um Reutte. — Schler-Schriften, Außer- ferner Buch, **111**, 53—59, Innsbruck 1955.
- SCHMIDT-THOMÉ, P.: Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1 : 500 000. D. Der Alpenraum. — 244—296, München (Bayer. Geol. Landesamt) 1964 (2. Auflage).
- SCHULER, G.: Lithofaziale, sedimentologische und paläogeographische Untersuchungen in den Raibler Schichten zwischen Inn und Salzach (Nördliche Kalkalpen). — Erlanger geol. Abh., **71**, 60 S., Erlangen 1968.
- SIEGEL, F. R.: Factors influencing the precipitation of dolomitic carbonates. — Geol. Surv. Kansas, Bull., **152**, part 5, 127—158, Kansas 1961.
- USDOWSKI, H. E.: Die Genese von Dolomiten in Sedimenten. — Miner. und Petrogr. in Einzeldarstell. (v. ENGELHARDT & ZEMANN eds.), 4, 95 S., Berlin-Heidelberg-N. York (Springer) 1967.
- VOIGT, E.: Die ökologische Bedeutung der Hartgründe („Hardgrounds“) in der oberen Kreide. — Paläont. Z., **33**, 3, 129—147, Stuttgart 1959.
- v. WÖHRMANN, S.: Die Fauna der sogenannten Cardita- und Raibler Schichten in den Nordtiroler und bayerischen Alpen. — Jb. Geol. R.-A., **39**, 182—258, Wien 1889.
- v. WÖHRMANN, S.: Die Raibler Schichten nebst kritischer Zusammenstellung ihrer Fauna. — Jb. Geol. R.-A., **43**, 617—768, Wien 1894.
- ZANKL, H.: Die Karbonatsedimente der Obertrias in den nördlichen Kalkalpen. — Geol. Rdsch., **56**, 128—139, Stuttgart 1967.

# Schematisierte Säulenprofile der Raibler Schichten

## in den Nördlichen Kalkalpen zwischen Fernpass und Rhein

