

Sedimentologische, lithofazielle und paläogeographische Untersuchungen in den Reichen- haller Schichten und im Alpinen Muschelkalk der Nördlichen Kalkalpen zwischen Lech und Isar

Von Johann FRISCH

mit 9 Abbildungen und 7 Tafeln (Tafeln 1, 2 = Phototafeln, Tafeln 3—7 = Beilagen 1—5)

Österreichische Karte 1 : 50.000
Blätter 85—87, 115—118, 145—148

Schlüsselschwörter
Nördliche Kalkalpen
Bayern—Tirol
Reichenhaller Schichten
Alpiner Muschelkalk
Sedimentologie
Paläogeographie

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	76
Zusammenfassung	77
1. Einführung	77
1.1. Untersuchungsgebiet und Untersuchungsmethode	78
1.2. Problemstellung	79
2. Beschreibung und Einteilung der Gesteine der Reichenhaller Schichten und des Alpinen Muschelkalkes	79
2.1. Kalke	82
2.1.1. Bauelemente	82
2.1.1.1. Komponenten	82
2.1.1.2. Mikrit	82
2.1.1.3. Spatit	83
2.1.2. Klassifizierungsvorschlag mit Hilfe der Komponenten und des Zwischenmittels ...	83
2.1.2.1. Komponentengröße	83
2.1.2.2. Mengenanteile der einzelnen Komponenten-Größenklassen, des Mikrites und Spatites als Grundlage einer Klassifizierung	83
2.1.2.3. Komponententyp — aussagekräftigster Bestandteil einer Karbonatgesteinsbeschreibung und -klassifikation	85
2.1.2.3.1. Karbonatgesteinsbruchstücke	85
2.1.2.3.2. Biogenkomponenten	86
2.1.2.3.3. Rundkörperchen	86
2.1.2.3.4. Kornaggregate und Schlammklümpchen	87
2.1.2.3.5. Umkrustete Komponenten	87
2.1.2.4. Klassifizierungsvorschlag für Kalkgesteine	88
2.1.3. Dolomit-, Ton- und SiO ₂ -Gehalt	89
2.1.4. Sedimentationsbedingungen — Folgerungen aus der Klassifizierungstabelle, Abb. 3	89
2.1.5. Gefügemerkmale	89
2.1.5.1. Sphärizität, Rundung und Sortierung der Komponenten	90
2.1.5.2. Geschlossenes und offenes Gerüst	90
2.1.5.3. Geopetale Gefüge	90

2.1.5.4. Feinschichtungen, Schräg- und Kreuzschichtungen	90
2.1.5.5. Stromatolith-Algenrasen	91
2.1.5.6. Wühlgefüge	91
2.1.5.7. Knollen- und Flasergefüge	91
2.1.5.8. Fließfalten	92
2.1.5.9. Berücksichtigung der Gefügemerkmale bei der Benennung	92
2.2. Dolomite	92
2.3. Breccien und Rauhacken	92
2.4. Tuffe und Tuffit-Gesteine („pietra verde“)	92
3. Beschreibung und Gliederung der aufgenommenen Profile	93
3.1. Lithofazies-Bereiche des Alpenen Muschelkalkes im Untersuchungsgebiet	94
3.1.1. Zone I mit Profiltyp I (Bereich der „Lechtal-Decke“ im Westteil der Tannheimer Gruppe und in den Ammergauer Alpen)	95
3.1.2. Zone II mit Profiltyp II (Bereich der „Lechtal-Decke“ im Gebiet der Wamberger Sattelzone, Nördl. Wettersteingebirge)	95
3.1.3. Zone III mit Profiltyp III (Südteil der „Lechtal-Decke“ im Bereich des Wetterstein- und Karwendelgebirges, Nordteil der „Inntal-Decke“ im Bereich des Mieminger Gebirges)	96
3.1.4. Zone IV mit Profiltyp IV („Inntal-Decke“ im Bereich des Mieminger Gebirges, der Nördlichen Karwendelkette, der Larsenn-Scholle und des Tschirgant-Simmering-Zuges)	97
3.1.5. Zone V mit Profiltyp V (Kalkalpen-Südrand südlich Imst im Inntal, Südrand der „Inntal-Decke“)	98
3.2. Zur Hangendgrenze des Alpenen Muschelkalkes	98
3.3. Die Lage der Altersgrenze Anis/Ladin zur Faziesgrenze Alpiner Muschelkalk/Wetterstein- kalk bzw. Alpiner Muschelkalk/Partnachschichten	99
4. Paläogeographische Ergebnisse	100
4.1. Bildungsmilieu der Reichenhaller Schichten und des Alpenen Muschelkalkes	100
4.1.1. Reichenhaller Schichten	100
4.1.2. Untere Gesteinsserie des Alpenen Muschelkalkes	100
4.1.3. Mittlere Gesteinsserie des Alpenen Muschelkalkes	101
4.1.4. Obere Gesteinsserie des Alpenen Muschelkalkes	102
4.2. Die morphologische Entwicklung des anisischen Sedimentationsraumes im Untersuchungs- gebiet	103
5. Tektonische Folgerungen	106
5.1. Der Nordrand der „Inntal-Decke“ zwischen Ehrwald und Westlicher Karwendelspitze (Nördliche Karwendelkette)	106
5.2. Zur Stellung der Larsenn-Scholle	107
5.3. Zur Stellung des Mittelostalpins	107
6. Angeführte Literatur	110

Anschrift des Verfassers: Dipl.-Geologe Dr. Johann Frisch, D-8000 München 82, Ittisstraße 62

Vorwort

Die Anregung zur sedimentologischen Bearbeitung der Reichenhaller Schichten und des Alpenen Muschelkalkes verdanke ich meinem verehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. P. SCHMIDT-TROMÉ.

Danken möchte ich ebenso Herrn Dr. M. SARNTHEIN für wertvolle Anregungen und Hinweise bei gemeinsamen Geländebegehungen und Diskussionen.

Mein besonderer Dank gilt auch Herrn Dr. H. BÖGEL, Technische Universität München, der die Arbeit durch zahlreiche Gelände- und Literaturhinweise förderte. Herrn Dr. E. OTT, Technische Universität München, danke ich für die Hilfe bei der Bestimmung der Algenreste.

Wertvolle Anregungen für die vorliegende Arbeit verdanke ich außerdem den Herren Dr. O. KRAUS, Bonn, Dr. G. SCHULER, Krumbach, und Dr. W. ZACHER, Technische Universität München.

Die Durchführung der Arbeit wurde durch Mittel der Deutschen Forschungsgemeinschaft und die Stiftung des Volkswagenwerkes gefördert, wofür ich meinen besonderen Dank ausspreche.

Nicht zuletzt gilt mein besonderer Dank der Firma Dorsch Consult, Ingenieurgesellschaft m. b. H., München, die durch eine großzügige finanzielle Hilfe die Veröffentlichung der Arbeit ermöglichte.

Zusammenfassung

53 Säulenprofile der Reichenhaller Schichten und des Alpenen Muschelkalkes in den Nördlichen Kalkalpen zwischen Lech und Isar werden sedimentologisch im Detail untersucht. Damit lassen sich neue Erkenntnisse über die Fazies und die Bildungsbedingungen dieser Gesteine und über die morphologische Entwicklung ihres Sedimentationsraumes gewinnen.

Gebiete, in denen der Alpine Muschelkalk eine gleichartige lithologisch-fazielle Entwicklung zeigt, werden zu Lithofazies-Bereichen zusammengefaßt. Es ergibt sich eine räumliche Gliederung des untersuchten Sedimentationsraumes in fünf West-Ost verlaufende Zonen, die jeweils charakteristische Schichtenprofile zeigen. Die sedimentologischen Merkmale der untersuchten Gesteine sprechen für ein warmes Klima und für eine Sedimentation in vorwiegend flachem bis extrem flachem Wasser, teilweise sogar im Gezeitenbereich.

Der Ablagerungsraum der Reichenhaller Schichten und des Alpenen Muschelkalkes der Nördlichen Kalkalpen stellt ein paläogeographisch eigenständiges Becken dar. Die Mächtigkeit des Alpenen Muschelkalkes nimmt von zirka 120 m im Norden auf 250—500 m in den zentralen Bereichen zu. Im Süden geht seine Mächtigkeit auf zirka 100 m zurück. Darin zeichnet sich die Beckenform im Querschnitt ab. Mit Beginn der Ablagerung des Alpenen Muschelkalkes läßt sich der Sedimentationsraum in Untiefen-Bereiche und in Zonen größerer Wassertiefe gliedern. Diese Gliederung erreicht zur Zeit der Sedimentation des Wettersteinkalkes und der Partnachschichten ihren Höhepunkt.

Die sedimentologischen und lithofaziellen Untersuchungsergebnisse erlauben Schlußfolgerungen für die Internektonektonik der Nördlichen Kalkalpen. Die Entwicklung des Alpenen Muschelkalkes im Wetterstein- und im Mieminger Gebirge spricht dagegen, daß die „Inntal-Decke“ den Charakter einer Ferndecke hat. In der Larsenn-Scholle zeigt der Alpine Muschelkalk eine ähnliche Ausbildung wie im nördlich davon gelegenen Mieminger Gebirge. Zu den Profilen südlich des Inn bestehen beträchtliche Unterschiede. Dies weist auf eine relative Autochthonie der Larsenn-Scholle hin. Die entsprechenden Sedimente der Kalkkögel im Süden von Innsbruck und des Jaggl am Reschenpaß zeigen eine bemerkenswerte Faziesverwandtschaft zum Südrand der Nördlichen Kalkalpen. Das macht es wahrscheinlich, daß das zentralalpine Mesozoikum südlich des nordalpinen Sedimentationsraumes abgelagert worden ist.

Summary

The limestones, dolostones, breccias and rauhwackes of the Reichenhaller Schichten and the Alpine Muschelkalk which were studied in 53 profiles in the Northern Alps can be classified according to their composition of micrite, sparite and components. The investigated sediments originate from a shallow sea during a period with warm climate. The sedimentation area represents an individual basin, divided into five zones running from east to west, each showing a characteristic facies with typical lithological profiles, indicating different conditions during the sedimentation. The results of the sedimentological studies form the basis for some important conclusions with regard to the internal tectonics of the Northern Alps.

1. Einführung

Der Begriff Reichenhaller Schichten in seiner heutigen faziellen Bedeutung wurde im Jahre 1899 von AMPFERER & HAMMER geprägt. Er charakterisiert eine Gesteinsfolge von Kalken, Dolomiten, Rauhwacken und Breccien, die den Alpenen Muschelkalk unterlagert.

Der Begriff „Alpiner Muschelkalk“ wird erstmals von GÜMBEL (1860) verwendet.

ARTHABER führt 1905 den Namen „alpiner Muschelkalk im engeren Sinne“ ein, KLEBELSBERG spricht 1935 von „Muschelkalk im engeren alpinen Sinn“. HUCKRIEDE lehnt 1959 die Bezeichnung „Muschelkalk“ in der Alpenstratigraphie ab und schlägt vor, die allgemeine alpine Stufengliederung Hydasp, Pelson und Illyr zu verwenden. Die Fossilien, welche eine derartige zeitliche Gliederung stützen könnten, sind jedoch äußerst spärlich. HUCKRIEDE belegt faziell definierte Gesteinskomplexe mit zeitlichen Begriffen, ohne zu berücksichtigen, daß zeitliche und fazielle Grenzen nicht immer zusammenfallen. Deshalb ist diese Gliederung abzulehnen. 1962 schlägt MILLER den Begriff „Anisische-Riff-Knollenkalk-Serie“ vor. Es fehlen jedoch Angaben über riffbildende Organismen und riffspezifische Fazieseigenschaften. Außerdem werden die zahlreichen anderen ebenso wichtigen Gesteinstypen des Komplexes durch den vorgeschlagenen Namen nicht erfaßt. SARNTHEIN verwendet in seinen Arbeiten von 1965/66/67

den Begriff Alpiner Muschelkalk mit fazieller Bedeutung. Er versteht darunter den Gesteinskomplex, der zwischen Reichenhaller Schichten und Wettersteinkalk bzw. Partnachschiechten liegt. HIRSCH gebraucht 1967 den Namen Alpiner Muschelkalk im gleichen Sinn wie SARNTHEIN. Außer zahlreichen Versuchen, den alpinen Muschelkalk zeitlich und lithologisch zu gliedern, existieren viele ortsbezogene Gesteins- und Schichtnamen, die nur Teile des Alpinen Muschelkalkes charakterisieren sollen, z. B. Gutensteiner Kalk, Lercheck-Kalk, Recoaro-Kalk, Reiflinger Kalk, Schreyeralm-Kalk, Schusterberg-Kalk, Virgloria-Kalk. Diese Lokalnamen bereiten bei Faziesstudien und Faziesvergleichen oft Schwierigkeiten, da sie von Autor zu Autor verschieden verwendet werden. Sie sollten deshalb für überregionale Vergleiche vermieden werden.

In der vorliegenden Arbeit wird der Gesteinskomplex, der im stratigraphischen Profil zwischen Reichenhaller Schichten und Wettersteinkalk bzw. Partnachschiechten liegt, mit dem Faziesnamen Alpiner Muschelkalk bezeichnet. Damit ist eine Unterscheidung zum stratigraphischen Begriff Muschelkalk des germanischen Faziesbereiches gegeben.

Da die Reichenhaller Schichten und der Alpine Muschelkalk die mächtige Schichtfolge der triadischen Karbonatsedimente der Nördlichen Kalkalpen einleiten, besitzen sie eine gewisse Schlüsselstellung zum Verständnis der darüberfolgenden, stark differenzierten Sedimente. Deshalb sollten die zu Beginn der Geosynklinalentwicklung abgelagerten Gesteine mit Hilfe der neuesten sedimentologischen Arbeitsmethoden untersucht werden.

1.1. Untersuchungsgebiet und Untersuchungsmethode

Als Untersuchungsgebiet wurde der vom Lech im Westen und von der Isar im Osten begrenzte Abschnitt der Nördlichen Kalkalpen gewählt (Abb. 1). Dieser Raum versprach günstige und zahlreiche Aufschlüsse des Alpinen Muschelkalkes. Die Westgrenze ergab sich außerdem dadurch, daß F. HIRSCH (1966) zur gleichen Zeit eine sedimentologische Untersuchung der Unter- und Mitteltrias im Arlberggebiet begonnen hatte und diese nach Osten bis in das Gebiet von Reutte und Imst auszudehnen gedachte. Im Karwendelgebirge hatte M. SARNTHEIN (1965/66/67) bereits mehrere Unter- und Mitteltriasprofile stromatometrisch bearbeitet, weitere Aufnahmen waren geplant. Damit war die Ostgrenze meines Arbeitsgebietes gegeben. Die Untersuchungen im dazwischenliegenden Raum ließen weitere Erkenntnisse über einen größeren zusammenhängenden Bereich des oberostalpinen Sedimentationsraumes erwarten. Die Nord- und Südgrenze des Arbeitsgebietes sind durch den Nord- und Südrand der Nördlichen Kalkalpen festgelegt. Der Nordrand entspricht einer Linie von Füssen zum Walchensee, der Südrand folgt dem Inntal.

Um die stark wechselnden Gesteins- und Faziesmerkmale im Detail zu erfassen, war ein dichtes Profil- und Probennetz notwendig. In den Sommer- und Herbstmonaten 1965 und 1966 wurden insgesamt 53 Profile bzw. Teilprofile bankweise aufgenommen und die Gesteine bereits im Gelände mit der Lupe bemustert.

Als unentbehrliches Hilfsmittel erwiesen sich außerdem 10%ige Salzsäure und eine Stahlfeile zur Herstellung kleiner Anschliffe im Gelände. Die 53 aufgenommenen Profile ergeben zusammen zirka 8000 Profilmeter, welche mit etwa 1400 orientiert und horizontal entnommenen Handstücken belegt sind. Sämtliche aufgesammelten Proben wurden zersägt und mit dem Binokular bemustert, die beobachteten Eigenschaften in einer Kartei zusammengestellt. 80 Karbonatproben dienten zur Herstellung von Dünnschliffen, weitere 80 Handstücke zur Anfertigung von Lackfilmen, schließlich wurden 90 Proben im Anschliff photographiert.

1.2. Problemstellung

Das Hauptaugenmerk der Arbeit lag auf der Sedimentologie, den Bildungsumständen und der Paläogeographie der Reichenhaller Schichten und des Alpenen Muschelkalkes. Deshalb sollte folgenden Fragen und Problemen besonders nachgegangen werden:

1. Welche sedimentpetrographischen und sedimentologischen Merkmale weisen die Reichenhaller Schichten und der Alpine Muschelkalk auf? Es war erforderlich, diese Merkmale in ihrer Gesamtheit zu erfassen, da die bisherigen Gesteinsbeschreibungen nicht ausreichen, um fazielle und paläogeographische Aussagen daraus abzuleiten.
2. Lassen sich aufgrund der festgestellten Merkmale die Gesteine zu Gruppen zusammenstellen, d. h. ist eine Klassifizierung der Karbonatgesteine der Reichenhaller Schichten und des Alpenen Muschelkalkes möglich?
3. Welche Merkmale versprechen Hinweise auf Bildungsumstände und Paläogeographie?
4. Lassen sich Gesteinstypen und damit Horizonte regional weiterverfolgen, wie verändern sich derartige korrelierbare Lagen?
5. Welche paläogeographischen Vorstellungen lassen sich daraus ableiten?
6. Weisen die zeitlichen und räumlichen Veränderungen des Ablagerungsraumes während der Sedimentation des Alpenen Muschelkalkes auf die lebhaftige Gliederung des Sedimentationstages zur Zeit der Ablagerung des Wettersteinkalkes und der Partnachschichten hin?
7. Lassen sich mit Hilfe der gewonnenen paläogeographischen Vorstellungen tektonische Aussagen machen?

2. Beschreibung und Einteilung der Gesteine der Reichenhaller Schichten und des Alpenen Muschelkalkes

Um die Möglichkeit und Voraussetzung für eine entsprechende Profilbeschreibung und damit die Grundlage für fazielle, paläogeographische und tektonische Aussagen zu schaffen, werden im folgenden die sedimentpetrographischen und sedimentologischen Merkmale des untersuchten Gesteinskomplexes behandelt.

Angeregt vor allem durch die Erfordernisse der Erdölindustrie, haben sich in den letzten 30 Jahren zahlreiche Geologen mit rezenten und fossilen Karbonatsedimenten beschäftigt. Ein erstrebenswertes Ziel war, eine allgemeingültige Karbonatklassifizierung zu entwickeln.

MIŠIK stellt 1959 die bis dahin veröffentlichten Einteilungsversuche zusammen. 1962 gibt HAM ein Symposium heraus, welches zahlreiche beschreibende und genetische Klassifizierungsmöglichkeiten enthält. Die beachtenswerten Vorschläge von THEODOROVICH (1958) und SHVETSOV (1958) wurden von BISSEL & CHILINGAR (1961) aus dem Russischen ins Englische übertragen. 1967 geben BISSEL & CHILINGAR eine kritische Zusammenstellung und Besprechung der derzeitigen Karbonatgesteinsklassifikationen, wobei sie selbst einen eigenen Vorschlag unterbreiten. In vielen dieser Versuche werden die Gesteinstypen überdetailliert klassifiziert, sodaß die Anwendung recht schwierig ist. Eine Klassifizierung sollte so gestaltet sein, daß sie auch der Feldgeologe benutzen kann. Das Beschreibungsschema und die Klassifikation sollen sich jedoch so erweitern lassen, daß sie auch dann verwendbar sind, wenn die Gesteine mit differenzierten Untersuchungsmethoden (Binokular, Mikroskop usw.) untersucht werden.

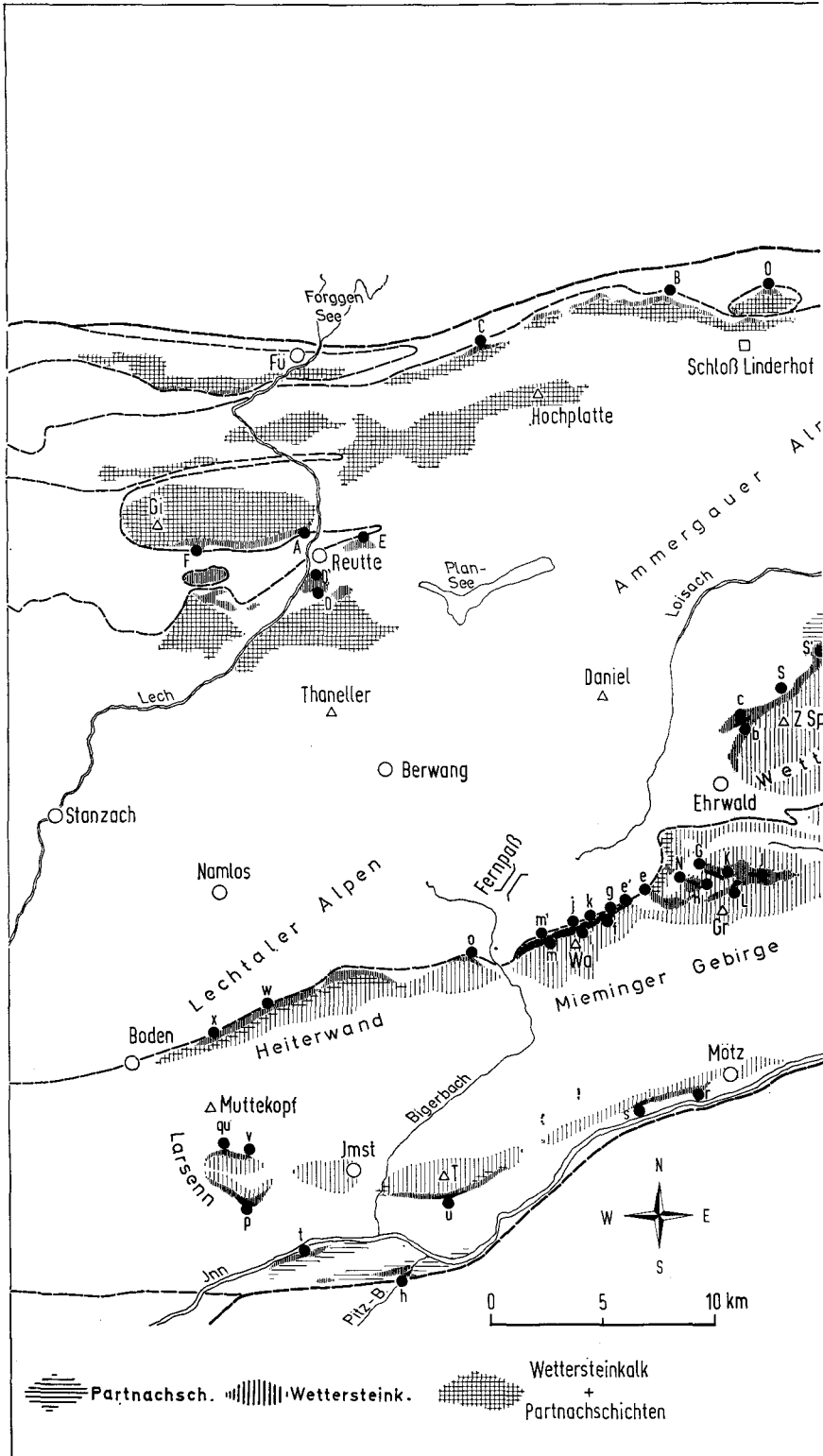
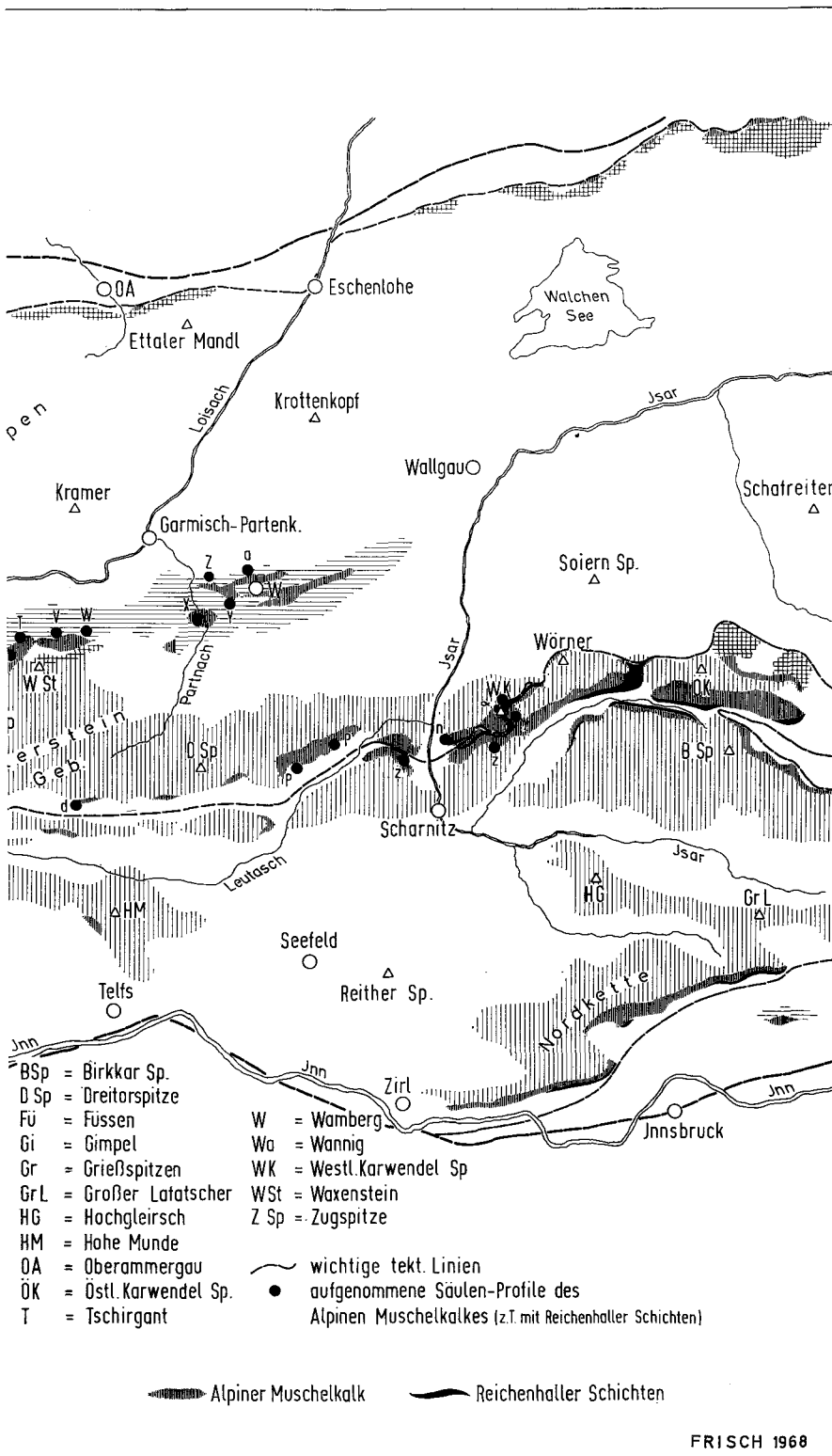


Abb. 1: Verbreitung von Reichenhaller Schichten (? Skyth--Anis), Alpinem Muschelkalk (Anis), Partnachschiefer (Ladin) und Wettersteinkalk (Ladin) in den Nördl. Kalkalpen zwischen Lech und Isar



Abgesehen von geringmächtigen Einschaltungen vulkanischer Gesteine (Tuffe und Tuffite) bestehen die untersuchten Sedimentfolgen durchwegs aus Karbonatgesteinen, welche definitionsgemäß mehr als 50% Karbonatminerale enthalten sollen. Hiervon sind lediglich Kalzit (CaCO_3) und Dolomit ($\text{Mg Ca} (\text{CaCO}_3)_2$) von Bedeutung. Gesteine mit mehr als 50% Kalzit werden in die Gruppe der Kalke eingereiht und aufgrund zahlreicher sedimentologischer Eigenschaften weiter untergliedert. Sedimente mit mehr als 50% Dolomit bilden die Dolomite, welche mehrere Typen enthalten. Rauhdecken und Breccien, welche durch besondere Struktur- und Textureigenschaften ausgezeichnet sind, erfahren eine getrennte Beschreibung, obwohl sie z. T. zu den Kalken und z. T. zu den Dolomiten gestellt werden können. Da die stromatometrisch untersuchten Säulenprofile vorwiegend von Kalken aufgebaut werden, erfahren diese Gesteine die ausführlichste Bearbeitung.

2.1. Kalke

Kalke bestehen, wie bereits erwähnt, zu mehr als 50% aus Kalzit (CaCO_3). Der Kalzitgehalt kann in den verschiedensten Korngrößen, Strukturen und Texturen im Gestein auftreten.

2.1.1. Bauelemente (Tafeln 1 und 2)

Bereits bei erster Betrachtung von Gesteinsproben mit freiem Auge oder mit der Lupe lassen sich folgende Bauelemente unterscheiden: Komponenten und Zwischenmittel (Mikrit und Spatit).

2.1.1.1. Komponenten (Tafel 1, Fig. 7 und 8; Tafel 2, Fig. 1, 2, 4 und 8)

Am auffallendsten sind meist gut begrenzte, vielgestaltige Teilchen, die das Gerüst eines Gesteines aufbauen können. Diese Teilchen entsprechen den Sandkörnern in einem Sandstein und werden im folgenden als Komponenten bezeichnet. Ihre unterste Größe wird bei 0.05 mm festgelegt. Diese Grenze ist nicht willkürlich gewählt, sondern hat folgende Bedeutung:

Bei der Beschäftigung mit Karbonatgesteinen zeigte sich, daß Komponenten dieser Größe mit einer zehnfach vergrößernden Lupe meist noch identifizierbar sind, d. h., daß Aussagen über Ursprung, Bildungsart und Bildungsumstände möglich sind. Diese Korngrößengrenze wurde also im Hinblick auf feldgeologische Karbonatuntersuchungen eingeführt. Eine Verschiebung und stärkere Gliederung der Korngrößengrenzen bei Anwendung von stark vergrößernden Lichtmikroskopen oder gar Elektronenmikroskopen ist angebracht. Es helfen jedoch auch derartige Instrumente kaum, wesentlich kleinere Komponenten eindeutig zu identifizieren. Wie komplex die Genese von Karbonatteilchen bereits im rezenten Sediment ist, zeigen die Arbeiten von CLOUD, 1962; CURTIS, EVANS, KINSMAN & SHEARMAN, 1963; DAETWYLER & KIDWELL, 1959; GINSBURG, 1956, 1957; ILLING, 1954; ILLING & WELLS, 1964 a, b; IMBRIE & PURDY, 1962; PURDY, 1963; SHINN & GINSBURG, 1964; u. a. Trotzdem gilt auch im fossilen Sediment den Komponenten (siehe Kap. 2.1.2.3.) besondere Aufmerksamkeit, da ihre Identifizierung wichtige Anhaltspunkte zum Verständnis von Bildungsumständen und paläogeographischen Gegebenheiten liefert.

2.1.1.2. Mikrit (Tafel 1, Fig. 5; Tafel 2, Fig. 3)

Häufig schwimmen die Komponenten in einem feinkörnigen, oft etwas krümeligen, meist sehr dichten und homogenen Zwischenmittel. Es treten auch Gesteinstypen auf, in denen Komponenten fehlen und die lediglich aus feinkörnigem, nicht näher identif-

zierbarem Material bestehen, welches im folgenden als Mikrit bezeichnet wird. Z. T. kann man auch im Mikrit noch einzelne Körnchen erkennen, eine genauere Bestimmung ist jedoch nicht möglich. Damit verliert eine Korngrößenmäßige Untergliederung des Mikrites, die von verschiedenen Forschern durchgeführt wird, ihre Bedeutung. Wie im Kap. 2.1.1.1. bereits ausgeführt, liegt die Grenze zwischen Komponenten und Mikrit bei 0.05 mm.

2.1.1.3. Spatit (Tafel 2, Fig. 3 und 8)

Außer Mikrit breitet sich zwischen den Komponenten z. T. ein glasiges, palisaden- oder pflasterartig gewachsenes Kristallmosaik von CaCO_3 aus. Dieses Zwischenmittel erhält den Namen Spatit (vgl. B. SANDER, 1936). Eine Unterscheidung von primär-chemisch ausgefälltem Spatit und sekundär-postsedimentär umkristallisiertem Mikrit ist nur manchmal möglich (vgl. B. SANDNER, 1936; FOLK, 1959; GERMANN, 1966). Erfährt ein Mikrit eine Sammelkristallisation, so entstehen Gefügebilder, welche sich von denen eines primär-chemisch gefällten Spatites kaum unterscheiden lassen. Deshalb wurde von einer Unterscheidung der beiden Spatitarten abgesehen. Eine Korngrößenmäßige und gefügeanalytische Untergliederung des Spatites, die in verschiedenen Arbeiten vorgenommen wird, ist im Rahmen dieser paläogeographisch orientierten Arbeit bedeutungslos.

2.1.2. Klassifizierungsvorschlag mit Hilfe der Komponenten und des Zwischenmittels

Die Komponenten, in ihrer Gesamtheit das aussagekräftigste Bauelement der Karbonatgesteine, unterscheiden sich vor allem durch drei Kennzeichen: die Größe, das Mengenverhältnis der einzelnen Größenklassen zueinander und den Komponententyp.

2.1.2.1. Komponentengröße

Die Komponenten werden in zwei Größenklassen unterteilt, in Arenite und Rudite. Arenite umfassen den Korngrößenbereich von 0.05 mm bis 2 mm, Komponenten mit einem Korndurchmesser >2 mm werden als Rudite bezeichnet (vgl. SARNTHEIN, 1965; BISSELL & CHILINGAR, 1967; PETTIJOHN, 1957). Die Korngröße 2 mm als Grenze zwischen Arenit und Rudit entspricht der Unterscheidung von Sand und Kies bei grobklastischen Sedimenten.

2.1.2.2. Mengenanteile der einzelnen Komponenten-Größenklassen, des Mikrites und Spatites als Grundlage einer Klassifizierung

Bei einiger Übung lassen sich die Mengenverhältnisse von Rudit zu Arenit bereits im Gelände grob abschätzen. Ebenso gilt es, den Anteil des Zwischenmittels (Mikrit und Spatit) zu bestimmen. Bei Binokular- oder Mikroskopuntersuchungen kann man dazu die Schaubilder von BACELLE & BOSELLINI (1965) verwenden. Setzt man die Mengenanteile des Rudites, des Arenites, des Mikrites und des Spatites ins Verhältnis zueinander, so erhält man eine erste grobe, beschreibende Klassifizierung.

Rudit, Arenit und Zwischenmittel (Mikrit und Spatit) werden als Eckpunkte einer Dreiecksdarstellung gewählt. Auf diese Weise erhält man eine Einteilung, die in Abb. 2 wiedergegeben ist.

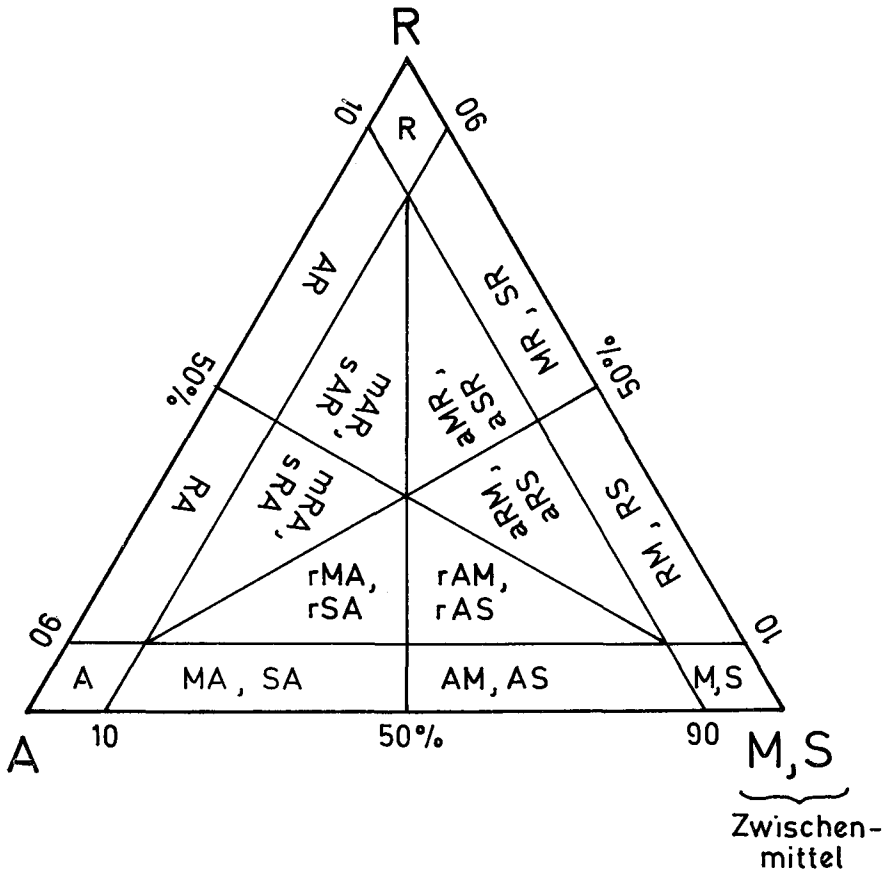


Abb. 2: Benennung des Gesteines nach Gehalt an Mikrit, Spatit, Arenit und Rudit

Die Abkürzungen der Dreiecksdarstellung haben folgende Bedeutung:

- R = Rudit
- aSR = arenitischer Spatit-Rudit
- SR = Spatit-Rudit
- aRS = arenitischer Rudit-Spatit
- RS = Rudit-Spatit
- sAR = spatitischer Arenit-Rudit
- aMR = arenitischer Mikrit-Rudit
- sRA = spatitischer Rudit-Arenit
- RA = Rudit-Arenit
- rSA = ruditischer Spatit-Arenit
- SA = Spatit-Arenit
- rAS = ruditischer Arenit-Spatit
- AS = Arenit-Spatit
- A = Arenit
- rMA = ruditischer Mikrit-Arenit
- MA = Mikrit-Arenit
- rAM = ruditischer Arenit-Mikrit
- AM = Arenit-Mikrit
- S = Spatit
- M = Mikrit

Folgende Gesteinstypen sind in den Reichenhaller Schichten und im Alpinen Muschelkalk unbedeutend:

MR = Mikrit-Rudit
 aRM = arenitischer Rudit-Mikrit
 RM = Rudit-Mikrit
 AR = Arenit-Rudit
 mAR = mikritischer Arenit-Rudit
 mRA = mikritischer Rudit-Arenit

Eine Größengruppe bzw. ein Bauelement, das mit weniger als 10% am Gesteinsaufbau beteiligt ist, fällt im Gesteinsbild meist nicht auf. Dieser Anteil wird deshalb bei der Benennung außer acht gelassen. In der Dreiecksdarstellung ist daher die 10%-Linie deutlich hervorgehoben. Die Begriffe sind nach folgendem Schema aufgebaut:

Das letzte Wort in der Namenskombination gibt das vorherrschende Bauelement bzw. die vorherrschende Größenklasse der Komponenten an und damit jenes Bauelement bzw. jene Komponenten-Größenklasse, die den Gesteinscharakter bestimmt. Der substantivische Begriff unmittelbar davor bezeichnet jenen Anteil am Gestein, welcher prozentual am zweithäufigsten vorkommt. Mit dem vorausgestellten Adjektiv wird jenes Bauelement bzw. jene Korngrößengruppe aufgeführt, die zwar den 10%-Anteil übersteigt, jedoch von den beiden anderen Anteilen mengenmäßig übertroffen wird (siehe Erläuterungen zu Abb. 2).

2.1.2.3. Komponententyp — aussagekräftigster Bestandteil einer Karbonatgesteinsbeschreibung und -klassifikation

Eine möglichst eindeutige Identifizierung des Komponententyps ist die Grundlage für eine unmißverständliche petrographische Beschreibung; diese wiederum ermöglicht eine Deutung der Bildungsbedingungen und Aussagen zur Paläogeographie. In den Reichenhaller Schichten und im Alpinen Muschelkalk sind folgende fünf Komponententypen von Bedeutung: Karbonatgesteinsbruchstücke, Biogenkomponenten, Rundkörperchen, Schlammaggregate und umkrustete Komponenten.

2.1.2.3.1. Karbonatgesteinsbruchstücke (Tafel 2, Fig. 1 und 8)

Hierunter fallen im weiteren Sinne die Resedimentbildungen. Nach B. SANDER (1936) ist die Gleichzeitigkeit der Komponentenbildung und der Sedimentation kennzeichnend für Resedimente. Während SANDER mit dem Begriff Resediment den gesamten Gesteins- bzw. Sedimenttyp bezeichnet, hat sich im Laufe der Zeit die Bedeutung dahingehend geändert, daß man unter Resediment nur noch die Komponente versteht.

Derartige Komponenten können von bereits lithifizierten Sedimenten stammen, aber auch unverfestigte Lagen werden zerstört und wieder abgelagert.

Bruchstücke, welche von bereits lithifizierten Sedimenten stammen (Tafel 2, Fig. 8).

Komponenten, welche von bereits verfestigtem Ausgangsmaterial stammen, weisen sich meist durch eckige, scharf begrenzte Umriss aus. Teilweise kommen sie in gradierter Lagerung vor, ihre sedimentäre Entstehung ist damit gesichert. Liegt ihr Ursprung außerhalb des Sedimentationsraumes, sind sie also allochthon, so ist ihre Genese komplex. Die Kalkbruchstücke in den von mir untersuchten Sedimenten sind durchwegs im Sedimentationsbecken selbst entstanden. FOLK (1959, 1962) bezeichnet diesen Resedimenttyp als „intraclast“, ohne den primären Lithifizierungsgrad zu berücksichtigen. Als Ursachen für das Zerbrechen von bereits lithifizierten Sedimenten und damit für die Entstehung derartiger Komponenten kommen Gezeiten- und Meeresströmungen sowie Sturmfluten in Frage.

Komponenten, von unverfestigtem bzw. schwach verfestigtem Primärsediment stammend (Tafel 2, Fig. 1).

Von Bedeutung sind Sedimentumlagerungen von unverfestigtem bzw. schwach verfestigtem Sediment. Durch Bodenunruhen, Gezeiten- und veränderliche Meeresströmungen oder Sturmfluten wird eine kaum verfestigte Sedimentlage aufgerissen, zerlegt und umgelagert, wobei durchwegs eine Zurundung der Schlammklumpen erfolgt. Auf diese Art dürften die Schlickgerölle entstanden sein, die auch aus den Raibler Schichten häufig beschrieben werden (vgl. HARSCH, 1968; JERZ, 1964; KRAUS, 1968; SCHULER, 1968). Da sich Komponenten und Sedimente fast gleichzeitig und mehr oder weniger aus dem gleichen Material gebildet haben, sind im entstehenden Gestein Resedimente (Komponenten) und einbettendes Sediment häufig schwer zu unterscheiden.

Zusammenfassend gilt, daß der beschriebene Komponententyp auf destruktive Vorgänge zurückzuführen ist.

Neben einfacher Umlagerung kommt eine mehrfache Resedimentation vor. Die in einer Probe enthaltenen Karbonatbruchstücke können oligomikt oder polymikt sein (vgl. PÉRISSON, 1949). Liegt die Korngröße unter 1 mm, so ist die Zuordnung einer Komponente zu diesem Typ kaum möglich. Die Resedimente (Komponenten) ihrerseits können von Mikriten bis Rudit-Areniten aufgebaut werden.

2.1.2.3.2. Biogenkomponenten (Tafel 2, Fig. 2, 3, 4 und 7)

Biogenkomponenten liegen meist in Form von Biogendetritus vor, es treten jedoch auch vollständig erhaltene Fossilien auf. In den Reichenhaller Schichten und im Alpinen Muschelkalk finden sich, nach ihrer Häufigkeit geordnet, Reste von folgenden Biogenen (= Fossilien im üblichen Sinne):

Crinoiden, Algen (Tafel 2, Fig. 2), Brachiopoden (Tafel 3, Fig. 3) und Lamellibranchiaten.

Dünne, meist gebogene, bis 1 cm lange und um 0.1 mm dicke Stäbchen, welche im Dünnschliff oder Lackabzug besonders häufig beobachtet werden können, erhalten den Namen Filamente (vgl. SARNTHEIN, 1965). Sie stellen Schnitte an dünnwandigen, kleinen Schalenresten (? Daonellen) dar. Es könnten auch dünne Lagen von abblättern-den Ammonitengehäusen in Frage kommen. In manchen Proben treten diese Filamente nahezu gesteinsbildend auf (Tafel 2, Fig. 4). Reste von *Tubiphytes obscurus* MASLOV (Tafel 2, Fig. 7) sind im Alpinen Muschelkalk weit verbreitet. Die paläontologische Zuordnung dieser Biogenreste ist noch nicht gesichert. Während MASLOV (1956) an eine Algenbildung glaubt, stellt RIGBY (1958) dieselben Gebilde aus den permischen Riffkalken Nordamerikas in eine neue Hydrozoenfamilie. FLÜGEL (1966) hält eine Zuordnung zu den Rotalgen für möglich. OTT (1967) charakterisiert die im Wettersteinkalk vorkommenden *Tubiphytes*-Typen, läßt die paläontologische Einstufung jedoch offen. In einer netzartigen bzw. spinnwebartigen Struktur finden sich meist mehrere spatitgefüllte Kanäle. Nach ersten Untersuchungen kommt diesen kleinen, organisch entstandenen Teilchen (wenige Millimeter im Durchmesser) stellenweise eine besondere Bedeutung bei der Sedimentbildung zu. So sind nach OTT (1967) die häufigsten Riffbildner im Wettersteinkalk derartige Tubiphyten.

Nur untergeordnet finden sich im Alpinen Muschelkalk Gastropodenreste, Foraminiferen, Stacheln und Siebplatten von Echinodermen, Radiolarien, Bryozoen und Ostracoden. Häufig ist es schwierig, die biogen-detritischen Komponenten einem der genannten Organismen zuzuordnen.

2.1.2.3.3. Rundkörperchen (Tafel 1, Fig. 5, 6 und 7)

Rundkörperchen sind Komponenten aus feinkritischem Material, denen eine Internstruktur fehlt. Die Komponentengröße umfaßt den arenitischen Bereich von

0.05 mm bis etwa 1 mm. Für einen großen Teil dieser Gebilde gibt es mehrere Entstehungsmöglichkeiten. Eine zweite Gruppe ist mit Sicherheit organischen Ursprunges.

Alle Komponenten im arenitischen Bereich von 0.05 mm bis 0.5 mm, welche sich nicht näher identifizieren lassen, d. h. deren Ursprung nicht sicher ist, werden von mir als pellets bezeichnet (Tafel 1, Fig. 7).

Auffallend gut sortierte, ovale Körner, welche meist noch einen dunklen Außenraum tragen, werden nach zahlreichen Untersuchungen in rezenten Sedimenten (z. B. EARDLY, 1938; PURDY, 1963) auf tierischen Ursprung zurückgeführt. Grabgänge, die mit derartigen Gebilden gefüllt sind, sprechen für Kotpillen (Tafel 1, Fig. 4, 5 und 6). Beim Verdauungsvorgang wird der Tongehalt im gefressenen, aragonitischen Sediment angereichert. Die ausgeschiedenen Kotpillen (engl. fecal pellets) erscheinen deshalb meist dunkler als das umgebende Sediment. Durch Sammelkristallisation erfolgt z. T. eine „Reinigung“, wobei der Tongehalt an den Rand der einzelnen Kalzitkristalle und schließlich an den Außensaum der Kotpillen wandert. Dadurch ist der oben erwähnte dunkle Außenrand bedingt. Möglicherweise bewirkt ein organischer Schleimüberzug, den die Pillen am Ende des Verdauungsvorganges erhalten, einen Stau des nach außen gedrängten Tongehaltes.

2.1.2.3.4. Kornaggregate und Schlammklümpchen (Klümpchen, engl. lump, bahamite, grapestone)

Dieser Komponententyp besteht aus synsedimentär verbackenen Kornaggregaten mit unregelmäßiger Internstruktur. Die Komponentengröße reicht von 0.5 mm bis 2.5 mm und liegt meist um 1 mm. Während im rezenten Sediment dieser Komponententyp leicht erkennbar ist, treten im fossilen Gestein die charakteristischen Eigenschaften meist nur undeutlich hervor.

Nach BISSELL & CHILINGAR (1967) sowie LEIGHTON & PENDEXTER (1962) können zwei Eigenschaften als typisch angesehen werden: der unregelmäßig nach außen gewölbte Umriß, welcher für oberflächliche Anwachsprozesse spricht; ferner die im Aggregat enthaltenen Körner, welche aus dem umgebenden Sediment stammen.

Zuweilen ist die Einordnung einiger Schlammklümpchen zu einem bestimmten Komponententyp fraglich. Werden Schlammstücke durch Meeresströmungen aus dem unverfestigten Meeresboden gerissen und umhergetrieben, wobei sich Mikritkörner oberflächlich anlagern, so entwickeln sich lumpartige Komponenten. Derartige Gebilde könnten jedoch auch zu den Schlickgeröllen (Kap. 2.1.2.3.1.) gestellt werden. Die Einteilungsgrenzen sind eben zuweilen fließend.

2.1.2.3.5. Umkrustete Komponenten (Tafel 1, Fig. 7 und 8)

Umkrustete Komponenten bestehen aus einem Kern und unterschiedlich entwickelten, den Kern umgebenden Krusten. Aufgrund der Ausbildung der Kruste lassen sich zwei Arten dieses Komponententypes unterscheiden: Komponenten, die eine im Verhältnis zum Kerndurchmesser dünne Mikrit-Rinde tragen (Tafel 1, Fig. 7) und solche, deren Kern von einer dicken, wolkig-aufgelösten, lagig aufgebauten Kruste umgeben ist (Tafel 1, Fig. 8).

Die Anlagerung des dünnen Schlammantels, der den ersten Typ auszeichnet, dürfte z. T. auf kohäsive, agglutinierende, also physikalische Kräfte zurückzuführen sein. Inwieweit Organismen, z. B. Bakterien, eine Anlagerung und Bindung der feinen Schlammteilchen bewirkten, läßt sich noch nicht beurteilen (vgl. WILSON, 1967). Die Wasserbewegung muß zur Zeit der Krustenbildung sehr gering gewesen sein, da sonst kaum eine Anlagerung des feinen Kalkschlammes vorstellbar ist.

Der zweite Typ wird als Onkoid bezeichnet (vgl. HARSCH, 1968; JERZ, 1964; O. KRAUS, 1968; SCHULER, 1968). Als Kern führen beide Typen meist Biogenreste, zuweilen auch Bruchstücke bereits lithifizierter Karbonatsedimente.

Charakteristisch für den zweiten Typ sind tiefe Einschnürungen in der lockeren, von hellen Spatitflecken durchsetzten Kruste, deren Rand häufig ausgefranst und zerschlossen ist (vgl. HARSCH, 1968; FLÜGEL & KIRCHMAYER, 1962; SCHULER, 1968). Die Bildung der Krusten führt man hauptsächlich auf Algen zurück, deren organische Substanz eine Bindung der Sedimentteilchen bewirkte. Daß neben dieser mechanischen Externanlagerung auch chemische Vorgänge eine Rolle spielen, ist sehr wahrscheinlich. Onkoide bilden sich rezent bei ± ständiger Wasserbedeckung (Flachwasser), Wasserbewegung und erhöhter CaCO₃-Konzentration (siehe u. a. LOGAN et al., 1964; GINSBURG, 1960).

2.1.2.4. Klassifizierungsvorschlag für Kalkgesteine (Abb. 3)

Kombiniert man, wie in Abb. 3 dargestellt, die Begriffe der Dreiecksdarstellung (Abb. 2) mit der Bezeichnung des Komponententyps, so erhält man Gesteinsnamen, die Auskunft über folgende Eigenschaften geben: Größe der Komponenten, Mengenverhältnisse der einzelnen Größenklassen, des Mikrites und des Spatites zueinander, damit über Art und Mengenanteil des Zwischenmittels (Mikrit, Spatit), Komponententyp; die Reihenfolge in der Aufzählung entspricht der Häufigkeit des jeweiligen Komponententyps in der betreffenden Gesteinsart.

Klassifizierungs-Vorschlag für Kalk-Gesteine

Entwickelt am Alpinen Muschelkalk, orientiert an LEIGHTON & PENDEXTER 62

		K o m p o n e n t e n t y p				
		Karbonatgesteins- Bruchstücke	Biogendetritus	Rundkörperchen	Schlamm- aggregate	Umkrustete Komponenten
Zunahme der Wasserbewegung	Benennung des Gesteins nach Gehalt an Mikrit, Spatit, Arenit und Rudit	Rudit				
	arenitischer Spatit-Rudit					
	Spatit-Rudit					
	arenitischer Rudit-Spatit					
	Rudit-Spatit					
	spatitischer Arenit-Rudit	①	①			①
	arenitischer Mikrit-Rudit					
	spatitischer Rudit-Arenit					
	Rudit-Arenit					
	ruditischer Spatit-Arenit					
	Spatit-Arenit		②	②		
	ruditischer Arenit-Spatit					
	Arenit-Spatit					
	Arenit					
	ruditischer Mikrit-Arenit					
	Mikrit-Arenit		③	③	③	
	ruditischer Arenit-Mikrit					
	Arenit-Mikrit					
	Spatit	S	p	a	t	t
Mikrit	M	i	k	r	i	

Abb. 3

Mit den Zahlen 1, 2 und 3 in Abb. 3 werden Beispiele für Kalkgesteine angegeben, die folgende Benennung erhalten: Der Name für Beispiel 1 lautet: spatitischer Arenit-Rudit mit Karbonatbruchstücken, umkrusteten Komponenten und Biogendetritus. Analog werden Beispiel 2, ein Spatit-Arenit mit Rundkörperchen und Biogendetritus, und Beispiel 3, ein Mikrit-Arenit mit Rundkörperchen, Schlammaggregaten und Biogendetritus benannt.

2.1.3. Dolomit-, Ton- und SiO_2 -Gehalt

Dolomit-, Ton- und SiO_2 -Gehalte werden durch geeignete beschreibende Zusätze angezeigt: „mit dolomitischem Mikrit-Zwischenmittel“, „mit silifizierten Komponenten“, „mit dolomitischem Spatit“ (= „mit Dolo-Spatit“), „mit tonigem Mikrit“, usw.

2.1.4. Sedimentationsbedingungen — Folgerung aus der Klassifizierungstabelle, Abb. 3

Die Mengenanteile der Komponentengrößenklassen, des Mikrites und Spatites (vertikale Achse der Einteilungstabelle, Abb. 3) erlauben Rückschlüsse auf die Wasserturbulenz im entsprechenden Bereich des Sedimentationsraumes, da sie die Wellen- und Strömungstätigkeit, d. h. also den Grad und die Art der Wasserbewegung widerspiegeln.

PLUMLEY et al. (1962) treffen sogar nach dem Grad der Wellen- und Strömungstätigkeit eine Kalkeinteilung in fünf Typen. Einem bestimmten Energieindex wird ein entsprechender Gesteinstyp zugeordnet. Eine derartige rein genetische Klassifizierung ist mit zahlreichen Unsicherheiten behaftet und deshalb schwer zu handhaben.

Feiner Kalkschlamm z. B. kann sich nur in ruhigem Wasser absetzen. Ein hoher Mikritgehalt spricht damit für eine geringe Wasserbewegung. Ein hoher Komponentenanteil deutet dagegen eine Turbulenz an. Je höher der Komponentenanteil und je größer die Komponententypen, desto stärker war die Wasserbewegung während der Sedimentation.

Die Bildungsumstände der Komponententypen (horizontale Achse der Abb. 3) sind sehr komplex. Mechanische, physikalisch-chemische und biochemische Prozesse prägen u. a. die Art und Morphologie der Komponenten. Detritische Komponenten beruhen weitgehend auf destruktiven Vorgängen. Andere Komponententypen, wie z. B. Kornaggregate (lumps, grapestones) und umkrustete Komponenten, verdanken ihre Entstehung aggregierenden, also konstruktiven Kräften. Die Komponenten formen sich und wachsen gleichzeitig mit der Bildung des Sedimentes, in welchem sie enthalten sind. Komplizierte chemische und biochemische Prozesse spielen dabei ebenfalls eine Rolle. Die Entstehung von Rundkörperchen (pellets und Kotpillen) etwa ist sehr verschiedenartig. Einige scheinen Bruchstücke, also detritischer Natur zu sein, andere beruhen auf agglutinierenden, chemischen und biochemischen Prozessen, schließlich geben sich zahlreiche Rundkörperchen als Kotpillen zu erkennen.

Zusammenfassend kann folgendes festgestellt werden: Die vertikale Achse der Klassifizierungstabelle (Abb. 3) spiegelt die Wirkung von Wellen- und Strömungstätigkeit wider. In horizontaler Richtung deuten sich mechanische, physikalisch-chemische und biochemische Einflüsse an.

2.1.5. Gefügemerkmale

Eine vollständige Karbonatgesteinsbeschreibung verlangt Angaben über Aussehen, Anordnung und Verteilung der Komponenten, d. h. über Struktur und Textur. Diese Gesteinseigenschaften, die Gefügemerkmale, liefern weitere Hinweise auf die Sedimentationsbedingungen.

2.1.5.1. Sphärizität, Rundung und Sortierung der Komponenten

Das von KRUMBEIN & SLOSS (1956) veröffentlichte Schaubild ermöglicht Angaben über Sphärizität (= Annäherung des Kornes an die Kugelgestalt) und über Rundung (= Abnahme der Kanten eines Kornes) mit Hilfe von Indexzahlen. Bei hohen Probenzahlen verursacht eine derartige Beurteilung der Komponenten einen beträchtlichen Zeit- und Arbeitsaufwand. Da die Struktur der Komponenten nur begrenzte Rückschlüsse auf die Transport- und Ablagerungsbedingungen zuläßt, genügt eine Abschätzung des Zurundungsgrades, was mit Ausdrücken, wie kantig oder eckig, schwach, mittelmäßig oder gut gerundet, veranschaulicht wird. Auf die gleiche Weise wird der Sortierungsgrad z. T. bereits im Gelände beurteilt und mit Begriffen, wie gut, mittelmäßig, schlecht sortiert, charakterisiert.

2.1.5.2. Geschlossenes und offenes Gerüst (Tafel 2, Fig. 2 und 8)

In Areniten bis Ruditen bilden die Komponenten durchwegs eine selbsttragende Lagerung, d. h. ein Gerüst, in dem sich die Komponenten gegenseitig stützen. Diese Gefügeeigenschaft wird allgemein als geschlossenes Gerüst bezeichnet. Meist werden die Zwickel dieses Gerüsts von Spatit als Zwischenmittel ausgefüllt, seltener findet sich Mikrit. Ein geschlossenes Gerüst mit spatitischem Zwischenmittel spricht für einen synsedimentären Turbulenzgrad, bei dem mikritische Feinanteile nicht zur Ablagerung gelangen konnten. Das Sediment wurde als Kalksand geschüttet, in den Zwickeln dieses Sandgerüsts kam es postsedimentär zur Ausfällung eines spatitischen Zwischenmittels durch chemische Internanlagerung.

Das geschlossene Gerüst eines Mikrit-Arenites mit mikritischem Zwischenmittel deutet eine Wasserbewegung an, bei welcher auch Mikrit zur Sedimentation gelangte, und die weniger intensiv war als im ersten Fall.

Schwimmen die Komponenten im Zwischenmittel, ohne sich gegenseitig zu berühren, so wird das Gerüst als offen bezeichnet. Das Zwischenmittel ist in diesem Fall meist Mikrit.

2.1.5.3. Geopetale Gefüge

Geopetale Gefüge sind zur Bestimmung der Lagerung oft unentbehrlich. Es treten z. B. Gradierungen in der Art von Turbiditen auf (vgl. SARNTHEIN, 1965). Derartige Kalke ermöglichen eventuell Aussagen über die Morphologie des Sedimentationsraumes (siehe Kap. 4.2.). Im makro- wie auch mikroskopischen Bereich finden sich außerdem geopetale Hohlräumeausfüllungen („Geologische Wasserwaagen“). So erhalten etwa Brachiopodenschalen (Tafel 2, Fig. 3), Algenröhrchen oder Kleinhöhlen, die im liegenden Teil mit Mikrit gefüllt sind, postsedimentär eine hangende Spatithaube durch chemische Internanlagerung. Häufig kann beobachtet werden, daß palisadenartig gewachsener, randständiger Kalzit (Spatit) im Hohlraumzentrum von ein bis zwei Generationen eines tafeligen Spatitpflasters abgelöst wird. Zuweilen bleibt der innerste Teil des Hohlraumes offen.

Kleine gewölbte Schälchen sind zuweilen so abgelagert, daß der konvexe Teil zum Hangenden zeigt. Ein derartiges Absinken und Einpendeln der Schälchen in diese stabile Lage spricht für äußerst ruhige Sedimentationsbedingungen.

2.1.5.4. Feinschichtungen, Schräg- und Kreuzschichtungen

Feinschichtungen können durch lagige Korngrößenunterschiede im gleichen Sediment bedingt sein. Häufig werden sie durch schichtige Einschaltung von wenige Millimeter dicken, dolomitischen, bituminösen, tonigen oder kieseligen Lagen hervorgerufen. An salzsäuregeätzten Anschliffen lassen sich diese Wechsellagerungen im Detail studieren.

Schräg- und Kreuzschichtung weisen auf eine Änderung der Anlagerungsrichtung hin (Tafel 2, Fig. 6). Diese Gefüge sind in den untersuchten Karbonatsedimenten recht selten und meist sehr undeutlich, so daß sie zur Rekonstruktion von Strömungsrichtungen nicht geeignet sind.

2.1.5.5. Stromatolith-Algenrasen (Tafel 1, Fig. 3)

Von großer Bedeutung für Angaben über Bildungsbedingungen sind biogene Sedimentstrukturen, sogenannte Stromatolith-Algenrasen (siehe TEBBUTT et al., 1965). B. SANDER (1936) beschreibt derartige krustige Karbonatbildungen als „Krautkopf-Lamellen-Gefüge“, A. FISCHER (1964) bezeichnet diese Anlagerungsgefüge als „Loferit“. LOGAN et al. (1964) führen eine geometrische Klassifizierung der Stromatolith-Algenrasen durch, die Aussagen über Bildungsbedingungen und Bildungsbereiche und damit über die Paläogeographie zuläßt.

Die in den Reichenhaller Schichten und im Alpenin Muschelkalk vorkommenden Typen reichen von planen, z. T. weiträumig gestreckten Formen bis zu weitständigen, niedrig-welligen, seitlich verbundenen Kuppeln im Zentimeterbereich (Tafel 1, Fig. 3). Die beiden Typen sprechen für eine Entstehung dieser biogenen Sedimentstrukturen im Gezeitenbereich.

Stromatolith-Algenrasen bestehen aus einem unregelmäßigen vertikalen Wechsel von Spatit mit krümeligem, dolomitischem Mikrit. Die Entstehung dieser unsystematisch welligen bis gekräuselten Schichtungsbilder kann auf die sedimentbindende Wirkung von Spaltalgen zurückgeführt werden.

2.1.5.6. Wühlgefüge (Tafel 1, Fig. 4, 5 und 6)

Wühlgefüge, auch Bioturbationsgefüge genannt, sind in einem bestimmten Horizont des Alpenin Muschelkalkes (siehe Kap. 3) verbreitet und lassen die sogenannten Wurstelkalken entstehen. Die Genese der Gefügebilder ist jedoch nicht immer eindeutig, z. T. können durch diagenetische Vorgänge ganz ähnliche Texturen hervorgerufen werden. Die wühlenden Organismen dürften z. T. Würmer gewesen sein, es kommen auch kleine Gastropoden in Frage. In den Grabgängen finden sich hin und wieder noch Kotpillen des Wühlers (Tafel 1, Fig. 4, 5 und 6).

2.1.5.7. Knollen- und Flasergefüge (Tafel 2, Fig. 5)

Die Knollen- und Flasergefüge sind wohl im Sinne von WEBER (1965) durch Zerlegung bereits verfestigter Kalklagen, d. h. spät-diagenetisch entstanden. Außerdem dürften Drucklösungsvorgänge eine wichtige Rolle gespielt haben (TURNIT, 1967, 1968 a, b). Anzeichen für frühdiagenetische Konkretionen lassen sich nicht nachweisen.

Die unregelmäßig geformten Arenit-Mikrit-Kalkknollen in der oberen Gesteinsserie des Alpenin Muschelkalkes mit durchwegs reichlich Filamenten schwimmen in einem tonig-schlierigen Zwischenmittel, in welchem die Filamente, aufgrund ihrer unterschiedlichen Löslichkeit feinkritischem Material gegenüber, angehäuft auftreten. Dieses Zwischenmittel stellt teilweise den Lösungsrückstand dar, in welchem die Kalkknollen eingesunken zu sein scheinen, bzw. in welchem sie bei der Diagenese hineingepreßt wurden. Dadurch kommen die Fließgefügebilder im Zwischenmittel an der Peripherie der Kalkknollen zustande.

In den Flaserkalken der unteren und mittleren Gesteinsserie kam es generell nicht zur vollständigen Auflösung der ursprünglichen, nur wenige Zentimeter dicken Kalkbänken und damit nicht zur Knollenbildung. Die spät-diagenetische Anlösung führte zu unregelmäßigen, knubbeligen Ober- und Unterflächen der verbliebenen Restbänken.

Die Milieubedingungen, welche zur Knollenbildung führen können, haben BECHSTÄDT & BRANDNER (1970) diskutiert.

2.1.5.8. Fließfalten

In Dolomit/Kalk-Rhythmiten mit Lagen um 1 cm konnten an einigen Stellen gut entwickelte Fließfalten mit einer Amplitude von einigen Zentimetern bis einigen Dezimetern beobachtet werden. Die Feststellung, daß derartige Fließfalten durch allmähliches Zerreißen seitlich in schichtig eingelagerte Breccien und Rauhdecken (siehe Kap. 2.3.) übergehen, ist ein Hinweis auf die Genese derartiger Gesteinstypen. Da derartige frühdiagenetische Gleitvorgänge bereits bei Bodenreibungen von weniger als 1 Grad ausgelöst werden können, sind Schlüsse auf die Morphologie dieser Sedimentationsbereiche nicht möglich.

2.1.5.9. Berücksichtigung der Gefügemerkmale bei der Benennung

Die Gefügemerkmale werden durch geeignete Zusätze in den Wortkombinationen aufgeführt: gradierter spatitischer Rudit-Arenit mit Karbonatbruchstücken und Onkoiden, ein geschlossenes Gerüst bildend; schlecht sortierter Mikrit-Arenit mit pellets und Kornaggregaten; Arenit-Mikrit mit gut sortierten Kotpillen und Bioturbationsefügen; mikritischer Rudit-Arenit mit schichtparallel eingelagerten Schalenresten (= Lumachelle).

2.2. Dolomite

Die Dolomite lassen sich nach ihrem Kalkgehalt gliedern. Dolomite mit einem Kalkgehalt von 10 bis 50% werden als kalkige Dolomite bezeichnet. Z. T. kann man noch verschwommene Sedimentstrukturen und -texturen des ehemaligen Kalkes erkennen. Ist der Kalkgehalt geringer als 10%, so liegt ein reiner Dolomit vor.

Die Bildungsbedingungen sind sehr verschiedenartig. Nach den Ergebnissen zahlreicher Arbeiten an rezenten Sedimenten sind die Dolomite der Reichenhaller Schichten und des Alpen Muschelkalkes in extrem flachem, hochsalinem Meerwasser, und zwar im Gezeiten- bzw. Wellenbereich gebildet worden. Das Klima dürfte ähnlich dem der Bahama-Inseln gewesen sein (ozeanisch-subtropisch).

2.3. Breccien und Rauhdecken (Tafel 1, Fig. 1 und 2)

Breccien und die daraus entstandenen Rauhdecken haben die gleiche Genese. Die rauhdeckige Anwitterung ist eine Folge der leichteren Verwitterbarkeit von bestimmten, in der ursprünglichen Breccie vorhandenen Komponenten. Mit der Klassifizierung und Genese von Breccien und Rauhdecken beschäftigen sich ausführlich HARSCH (1968), JERZ (1966), O. KRAUS (1968) und SCHULER (1968) in ihren Untersuchungen der Raibler Schichten.

Wie bereits erwähnt, konnte häufig beobachtet werden, daß sich Breccien und Rauhdecken seitlich mit Fließfalten verzahnen, welche durch allmähliches Zerreißen und schließlich durch Zerbrechen in Breccien bzw. Rauhdecken übergehen. Wahrscheinlich führen bereits Neigungen unter 1% zu derartigen subaquatischen Sedimentrutschungen.

Da sich die Breccien und Rauhdecken durchwegs mit laminierten Dolomiten, d. h. Stromatolith-Algenrasen verzahnen, sind dem gesamten Komplex die gleichen Bildungsbedingungen zuzuschreiben, die bereits bei den Dolomiten angegeben worden sind.

2.4. Tuffe und Tuffit-Gesteine („pietra verde“)

Neben grünen, allgemein als „pietra verde“ bekannten Gesteinstypen, treten am Südrand der Nördlichen Kalkalpen auch rote Tuffe und Tuffite auf. Eine detaillierte regionale und petrographische Beschreibung dieser Gesteine soll an anderer Stelle veröffentlicht werden. Soweit die Untersuchungsergebnisse für paläogeographische Aussagen von Bedeutung sind, werden sie in Kap. 4 diskutiert.

3. Beschreibung und Gliederung der aufgenommenen Profile

Die Verbreitung der Reichenhaller Schichten und des Alpinen Muschelkalkes geht aus Abb. 1 hervor.

Aufgrund lithofazieller und sedimentologischer Merkmale lassen sich die aufgenommenen Profile des Alpinen Muschelkalkes in eine untere, mittlere und obere Gesteinsserie gliedern. Die Profile zeigen außerdem in Nord-Süd-Richtung beachtliche Unterschiede. In West-Ost-Richtung macht sich dagegen in den Profilen eine auffallend einheitliche Ausbildung des Alpinen Muschelkalkes bemerkbar. Daraus ergibt sich eine Gliederung des Ablagerungsraumes im Untersuchungsgebiet in fünf von Norden nach Süden hintereinander angeordnete Lithofazies-Bereiche (Abb. 5).

3.1. Lithofazies-Bereiche des Alpinen Muschelkalkes im Untersuchungsgebiet

Gebiete, in denen der Alpine Muschelkalk eine ähnliche lithologisch-fazielle Entwicklung zeigt, werden zu Lithofazies-Bereichen zusammengefaßt (Abb. 5). In West-Ost-Richtung verändern sich die Säulenprofile lithofaziell nur geringfügig (Tafel 4), von Norden nach Süden zeigen sich jedoch auffallende Unterschiede (Tafel 3). Es ergibt sich dadurch eine räumliche Gliederung des Sedimentationsraumes in fünf West-Ost verlaufende Zonen (Abb. 4), die jeweils durch bestimmte Profiltypen charakterisiert sind (Tafel 3 und 4). Die Ähnlichkeit der Profile in den jeweiligen Zonen geht aus Tafel 4 hervor. Die charakteristischen Merkmale der einzelnen Profiltypen und Fazieszonen sind in den folgenden Kapiteln erläutert. Da eine sichere Basis der Profilsäulen fehlt, wird als Bezugslage (Om) für die Metrierung der Profile die Basis des Wettersteinkalkes bzw. der Partnachschichten gewählt. Die Korrelierung der Profile wird aufgrund der lithofaziellen Merkmale vorgenommen.

Da das Untersuchungsgebiet nicht gleichmäßig mit Profilen bedeckt ist, wurden typische Profilsäulen aus den jeweiligen Zonen (Abb. 5) auf eine Linie A—B einprojiziert, die senkrecht zum Verlauf der lithofaziellen Zonen liegt (Tafel 3). Der sich ergebende Nord-Süd-Schnitt durch die Sedimentfüllung des Ablagerungsraumes in den Nördlichen Kalkalpen ist auf den Tafeln 3, 7 und Abb. 6 dargestellt.

3.1.1. Zone I mit Profiltyp I (Bereich der „Lechtal-Decke“ im Westteil der Tannheimer Gruppe und in den Ammergauer Alpen)

Profile und Profilschnitte F, A, C, B, O (Tafel 4 und 5)

Das Liegende des Alpinen Muschelkalkes ist in dieser Zone nicht aufgeschlossen. Die untere Gesteinsserie mit den charakteristischen Wurstelkalken ist tektonisch stark reduziert, die Profile A, B und F zeigen einige dieser typischen Lagen, die her durch diagenetische Zerflaserung überprägt sind. Die dunkelgrauen, dünn- bis mittelbankigen Arenit-Mikrite führen etwas Biogendetritus (Crinoidenbruchstücke und Brachiopodendetritus).

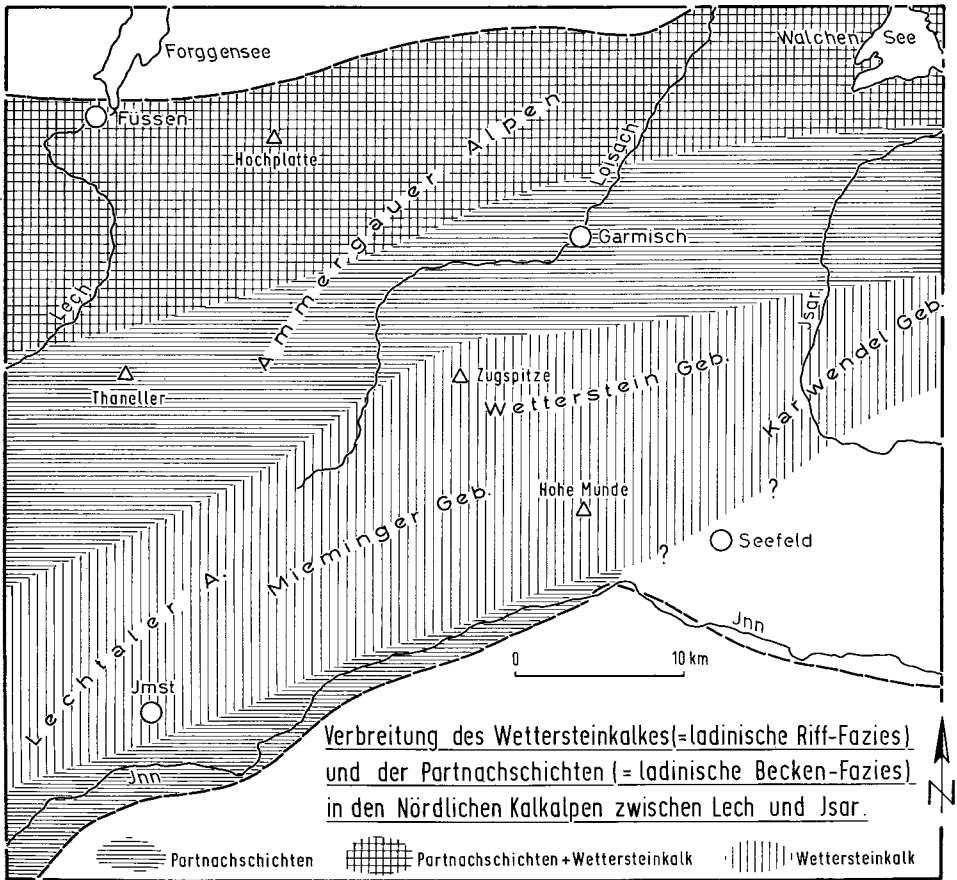


Abb. 4

Die dunkel- bis mittelgraue, dickbankige bis massige mittlere Gesteinsserie wird von Mikriten und Arenit-Mikriten aufgebaut, deren wichtigste Komponenten Crinoiden- und Brachiopodendetritus sind. Zuweilen macht sich ein Bitumengehalt bemerkbar. Die Mächtigkeit dieses Abschnittes beträgt 55—65 m.

Die dunkelgrauen, meist stark knolligen, dünnen (um 20 cm) Bänke der oberen Gesteinsserie führen mäßig graue Hornsteinknollen. Stellenweise reichlich vorhandener Biogendetritus (vorwiegend Brachiopodenreste, daneben Filamente und Crinoidenbruchstücke) läßt hin und wieder einen Arenit-Mikrit entstehen. Meist erweisen sich die Kalke jedoch als Mikrite. Manche Bänke geben beim Anschlagen einen Bitumengehalt zu erkennen. Tuffe und Tuffite fehlen im Profiltyp I. Der Abschnitt der oberen Gesteinsserie zeigt eine Mächtigkeit um 30 m. Da die untere Gesteinsserie fehlt, kann man die Gesamtmächtigkeit für Profiltyp I nur durch Extrapolation und Vergleiche mit vollständigen Profilen aus anderen Zonen ermitteln. Danach würde sie etwa 120 m betragen.

Über dem Alpinen Muschelkalk entwickeln sich Partnachsichten (zirka 300 m), welche durch zwei Kalkzüge in drei Schieferabschnitte untergliedert werden. Die Beckenfazies der Partnachsichten geht in die Rifffazies des Wettersteinkalkes über (Tafel 4 und 7).

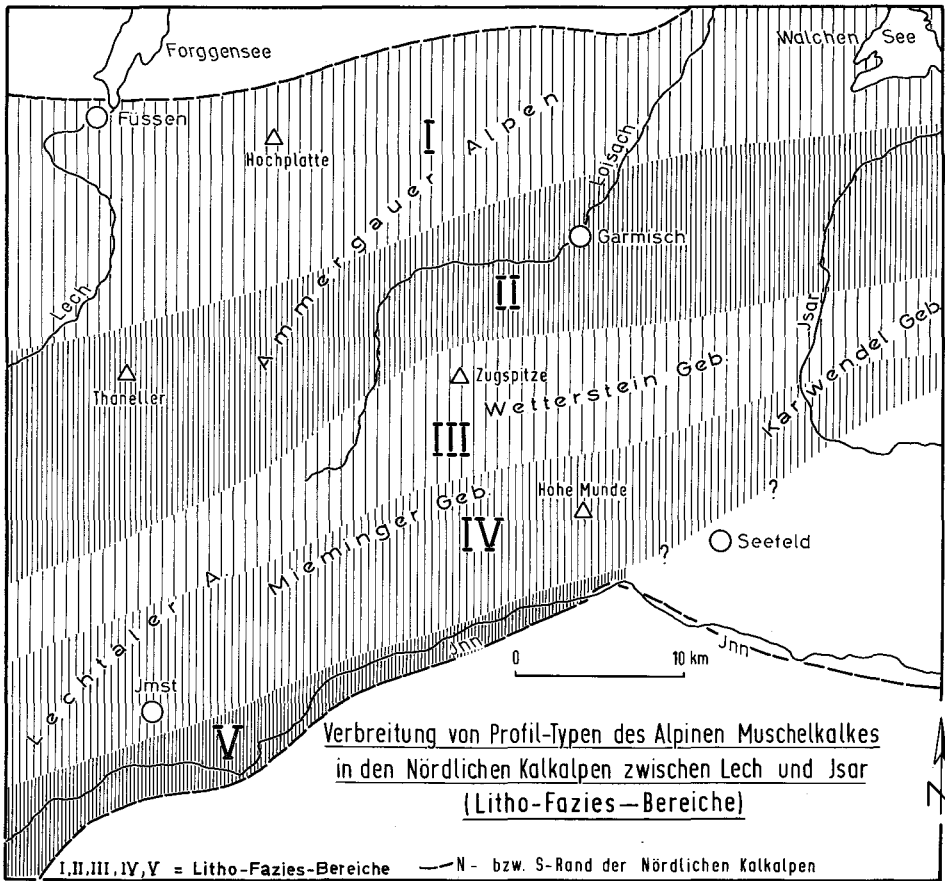


Abb. 5

FRISCH 1968

3.1.2. Zone II mit Profiltyp II (Bereich der „Lechtal-Decke“ im Gebiet der Wamberger Sattelzone, nördliches Wettersteingebirge)

Profile und Praofilbschnitte V, W, X, Z, Y, a (Tafel 4 und 5)

Die untere Gesteinsserie des Alpenen Muschelkalkes ist im Bereich von Profiltyp II nicht erschlossen.

Die mittlere Gesteinsserie ist meist massig entwickelt, nur selten dickbankig. Die Farbe wechselt von mittelgrau bis dunkelgrau. Die Folge ist vorwiegend aus Mikriten aufgebaut, selten stellen sich Arenit-Mikrite ein, die etwas Biogendetritus (Crinoiden- und Brachiopodenbruchstücke) führen. Ein mäßiger Bitumengehalt macht sich bemerkbar. Die durch Extrapolation und Vergleiche gewonnene Mächtigkeit dieses Abschnittes dürfte bei etwa 70 m liegen.

Die obere Gesteinsserie, durchwegs dünn- bis mittelbankig, zeichnet sich durch die sehr starke Knolligkeit der Bankfugen aus, auf denen sich häufig dünne, spröde Tonschieferbeläge finden. Der Hornsteingehalt ist gering, meist fehlt er sogar. Die fast schwarzen Kalle bis Mergelkalle sind durchwegs aus Mikrit aufgebaut, als Komponenten finden sich lediglich Filamente. Die lauchgrünen bis graugrünen Einschaltungen vulkanischer Gesteine von 30 bis 140 cm Mächtigkeit erweisen sich als Kristall- und Aschentuffe sowie Tuffite mit Gradierung, Fein- und Kreuzschichtung. Ein deutlicher Bitumengehalt macht sich häufig in den Knollenkalken bemerkbar. Die Mächtigkeit dieses

Abschnittes schwankt zwischen 130 und 185 *m*, die Gesamtmächtigkeit von Profiltyp II dürfte bei etwa 250 *m* liegen.

Im Hangenden stellt sich die Beckenfazies der Partnachsichten ein. Die Rifffazies des Wettersteinkalkes ist in diesem Bereich nicht entwickelt (Tafel 4).

3.1.3. Zone III mit Profiltyp III (Südteil der „Lechtal-Decke“ im Bereich des Wetterstein- und Karwendelgebirges, Nordteil der „Inntal-Decke“ im Bereich des Mieminger Gebirges)

Profile und Profilabschnitte S, P, n, G, K, H, N (Tafel 4 und 5)

Die Profile n (Nördliche Karwendelkette), G, H, K und N (Mieminger Gebirge) führen an ihrer Basis Reichenhaller Schichten mit mikritischen Kalken, dolomitischen Kalken, kalkigen Dolomiten, Rauhvaccken und Breccien.

Die untere Gesteinsserie des Alpinen Muschelkalkes ist gekennzeichnet durch einen Wechsel von Flaserkalken, Kompaktbänken und Wurstelkalken. Flaserkalke und Wurstelkalke gehen häufig ineinander über. Die dünn- bis selten mittelbankigen Kompaktbänke erweisen sich meist als Mikrite, vereinzelt treten auch Mikrit-Arenite mit Biogendetritus (vorwiegend Crinoidenbruchstücke, daneben Reste von kleinen Gastropoden) auf. Im unteren Abschnitt vereinzelt eingeschaltete, kalkige Dolomitbänke (Bankdicke um 25 *cm*) führen hin und wieder undeutlich ausgebildete Stromatolith-Algenrasen. Die für diesen Abschnitt der Profilsäule charakteristischen Flaserkalk- und Wurstelkalklagen weisen z. T. auf eine Entstehung durch diagenetische Zerflaserung und Drucklösung an mergeligen Kalkbänkchen hin. In den Wurstelkalken läßt sich eindeutige Sedimentdurchwühlung, d. h. Bioturbationsgefüge erkennen. Die Gesamtmächtigkeit dieser unteren Gesteinsserie schwankt sehr stark (40—180 *m*). Dies dürfte z. T. dadurch bedingt sein, daß die Grenzziehung zur ebenfalls Flaserkalk führenden mittleren Gesteinsserie in mehreren Profilen problematisch ist.

Die massige, selten mittel- bis dickbankige, hellgraue mittlere Gesteinsserie zeigt sich meist als Arenit-Mikrit, stellenweise auch als Mikrit-Arenit und Arenit. Als wichtigster Komponententyp tritt Biogendetritus auf, der sich aus Crinoidenbruchstücken, unbestimmbaren Zweischalerresten und etwas Algenschutt (*Physoporella praealpina* PIA) zusammensetzt. In einigen Profilen wittern aus dolomitischen Kalkbänken Feinschichtungen heraus, die möglicherweise als organische Sedimentstrukturen (Stromatolith-Algenrasen) entstanden sind. Außerdem zeigen sich kalkige und reine Dolomite in Form von Knollen und Linsen. Die Profilsäulen S und n weisen eine rhythmische Wechsellagerung von Flaserkalkabschnitten und Bereichen mit Kompaktbänken auf. Ein leichter Bitumengehalt ist nahezu immer feststellbar. Die Mächtigkeit schwankt mit 70—100 *m* nur geringfügig.

Die dünn- bis mittelbankigen Hornsteinknollenkalke der oberen Gesteinsserie sind meist als Arenit-Mikrite bis Arenite ausgebildet. In den Profilen S, P und n stellen sich auch spatitische Rudit-Arenite und spatitische Arenit-Rudite ein. Auffallendste Komponenten sind Kalkbruchstücke und Biogendetritus (Filamente, Crinoiden, *Tubiphytes obscurus* MASLOV). Die Bankfugen zeigen meist eine deutliche Knolligkeit, die vereinzelt derart zunimmt, daß ein konglomeratisches Aussehen entsteht. Der Hornsteingehalt schwankt zwischen mäßig und stark. Die Zahl der Einschaltungen sowie die Mächtigkeit der Einzelbänke von grünem bis grüngrauem Kristalltuff, Aschentuff und Tuffit wechselt beträchtlich. Am Nordwestrand des Wettersteingebirges (Riffelwald) tritt eine Lage von etwa 4 *m* auf, wogegen im Profil P am Südrand des Wettersteingebirges das vulkanische Material vollkommen zu fehlen scheint. In den Profilen S, P und n gehen die Knollenkalke in einen typischen rudit-arenitischen bis arenit-ruditischen Riffschuttkalk über (Tafel 2, Fig. 8). In den Profilen G, H, K und N folgen

über den hornsteinführenden Knollenkalken mehrere helle Mikrit-Bänke („Schlickbänke“) mit ebenen Schichtflächen, bevor sich arenitischer Riffschuttkalk einstellt.

Der Abschnitt der Knollenkalke mißt 100—200 *m*, so daß man für Profiltyp III eine Gesamtmächtigkeit von etwa 250—500 *m* erhält.

3.1.4. Zone IV mit Profiltyp IV („Inntal-Decke“ im Bereich des Mieminger Gebirges, der Nördlichen Karwendelkette, der Larsenn-Scholle und des Tschirgant-Simmering-Zuges).

Profile und Profilabschnitte *m*, *i*, *k*, *j*, *m'*, *l*, *f*, *g*, *e'*, *L*, *J*, *Z*, *p*, *v*, *q*, *s*, *r* (Tafel 4 und 5)

Profiltyp IV zeigt die am stärksten differenzierte lithologisch-fazielle Entwicklung.

An der Basis der Profile *J* und *L* finden sich Reichenhaller Schichten, die fast ausschließlich aus Rauhwacken bestehen. Daneben kommen untergeordnet kalkige Dolomitbänke mit Stromatolith-Algenrasen vor. Profil *v* führt im Liegenden Buntsandstein in Form rötlicher Quarzite. Darüber folgen 3 *m* eines dünnbankigen, hellen, mürbe bzw. etwas rauhwackig anwitternden Dolomites. Dieser könnte ein Äquivalent der Reichenhaller Schichten sein.

Die untere Gesteinsserie mit dünn- bis selten mittelbankigen Mikriten bis Arenit-Mikriten enthält als Komponenten Crinoidenbruchstücke, nicht näher bestimmbare Zweischalerreste sowie etwas Schutt von Dasycladaceen. Diese Komponenten lassen stellenweise Arenite mit geschlossenem Gerüst entstehen. Vereinzelt treten in diesem Abschnitt in kalkigen Dolomitbänken Stromatolith-Algenrasen auf.

In zwei Profilen (*m* und *p*) konnten Fließfalten beobachtet werden, die sich mit endostratischen Breccien verzahnen, folglich genetisch mit diesen verwandt sind. Die zahlreichen eingeschalteten Wurstelkalklagen zeigen deutlich die Tätigkeit von Sedimentwühlern an. Daneben treten auch Gefügebilder auf, die durch diagenetische Zerfaserung und Drucklösung entstanden sind. Wie bei Profiltyp III schwankt die Mächtigkeit dieser Gesteinsserie stark, nämlich zwischen 25 und 90 *m*.

Die hellen, massigen Kalke der mittleren Gesteinsserie erweisen sich im Mieminger Gebirge als Biogendetriskuskalke mit Algenresten (*Physoporella praealpina*, PIA, Tafel 2, Fig. 2), Filamenten, *Tubiphytes obscurus* MASLOV, Crinoidenbruchstücken und Resten von Lamellibranchiaten und Brachiopoden. Neben Arenit-Mikriten kommen Arenite und spatitische Arenit-Rudite vor. Zusammen mit gut ausgebildeten Stromatolith-Algenrasen und Onkoiden liefern die vorher erwähnten Dasycladaceen wichtige bathymetrische Hinweise. Wie in der unteren Gesteinsserie kann man auch hier schlecht entwickelte Fließfalten und endostratische Breccien beobachten. Ein mäßiger Gehalt an kalkigen und reinen Dolomiten äußert sich in Form auswitternder Knollen, Flatschen, Krusten und Linsen. Ein Bitumengehalt fehlt völlig. Die Mächtigkeitsgrenzen liegen bei 35 und 90 *m*.

Die dünn- bis selten mittelbankigen, mäßig knolligen, arenit-mikritischen bis arenitischen Bänke der oberen Gesteinsserie weisen einen meist geringen Hornstein-gehalt auf. Neben hell- bis mittelgrauen Kalken und Hornsteinen treten auch fleischfarben bis rotbraun gefärbte Varietäten auf. Die anteilmäßig wichtigsten Komponententypen dieses Abschnittes sind Biogendetritus und Kalkbruchstücke. Die Mächtigkeit der eingeschalteten Kristall- und Aschentuffe sowie Tuffite schwankt zwischen 20 und 75 *cm*, im Profil *e'* fehlen derartige Gesteine. Neben grünen und graugrünen Typen treten am Kalkalpen-Südrand (Profile *s* und *r*) auch rote vulkanische Gesteine auf,

die sich mit grünen verzahnen. Über dieser 15—55 *m* messenden oberen Gesteinsserie folgen Riffschuttalkale (Wettersteinkalk), die in einigen Profilen nach wenigen Metern in Gesteine des randlichen Riffkernes überleiten. Die Mächtigkeit von Profiltyp IV reicht von 120 bis 200 *m*.

Die von SARNTHEIN (1965/66) an der Innsbrucker Nordkette aufgenommenen Profile entsprechen Typ IV (siehe Tafel 12). Über die Ausbildung der Reichenhaller Schichten und des Alpinen Muschelkalkes im zentralen und nördlichen Karwendelgebirge fehlen bisher genaue sedimentologische Angaben.

3.1.5. Zone V mit Profiltyp V (Kalkalpen-Südrand südlich Imst im Inntal, Südrand der „Inntal-Decke“)

Profile h und t (Tafel 4 und 5)

Die Eigenschaften der beiden Profile h und t sind durch eine epigenetische Dolomitierung stark verwischt. Dolo-Spatit-Pflaster setzen über Struktur und Textur hinweg, wobei Komponentengrenzen verlorengehen.

Profil h führt an der Basis gelbliche bis rötliche Quarzite, die dem Buntsandstein angehören. Knapp 2 *m* eines kieseligen, gebankten Dolomites, ein fragliches Äquivalent der Reichenhaller Schichten, leiten zum Alpinen Muschelkalk über (siehe GROTTENTHALER, 1968).

Im Profil h ist die untere Gesteinsserie von der mittleren nicht abzutrennen. Profil t weist einige Wurstelkalklagen auf, die durch diagenetische Zerflaserung und Drucklösungsvorgänge sowie postdiagenetische Beanspruchung überprägt sind. Damit ist hier eine untere Gesteinsserie zu erkennen. Die dünn- bis mittelbankigen, durchwegs mikritischen bis arenitischen Dolo-Spatite von Profil h zeigen stellenweise Gleitfalten und gegeneinander verstellte Schollen im Zentimeterbereich, so daß ein breccienartiger Charakter entsteht. Beim Anschlagen macht sich ein Bitumengehalt bemerkbar. Detritischer Quarz und ? detritischer Muskowit sind verbreitet.

Eindeutig vom übrigen Profilschnitt abtrennbar ist die obere Gesteinsserie des Alpinen Muschelkalkes. In den fast schwarzen, dünn- bis mittelbankigen, mikritischen, stark knolligen Kalken fehlen Hornsteinknollen fast völlig. Eine in Profil h eingeschaltete 40 *cm* dicke Lage von graugrünem, schieferigem Material könnte den Tuff- bzw. Tuffithorizont markieren. In Profil t fehlen die vulkanischen Gesteine, obwohl sie in nahegelegenen Aufschlüssen vorhanden sind. Die obere Gesteinsserie mißt 35 (Profil t) bzw. 45 *m* (Profil h). Die Gesamtmächtigkeit dürfte bei etwa 100 *m* liegen.

Um die charakteristischen und wichtigen lithofaziellen Merkmale und Eigenschaften der einzelnen Profiltypen sowie deren unterschiedliche Ausbildung rasch überblicken zu können, wurden die entsprechenden Kennzeichen in diversen paläogeographischen Skizzen (Tafel 7) zusammengestellt.

3.2. Zur Hangendgrenze des Alpinen Muschelkalkes

Leitet der Alpine Muschelkalk in die Beckenfazies der Partnachschiefer über, so ist seine Hangendgrenze mit dem Einsetzen der Schieferfazies gegeben. Schwieriger ist die Abgrenzung, wenn sich über dem Alpinen Muschelkalk die Riffazies des Wettersteinkalkes entwickelt. Die Knollenkalkale werden zuweilen allmählich von ebenfächig

begrenzten, dunklen Kalkbänken abgelöst, die nach und nach in die typischen, hellen Wettersteinkalkbänke übergehen. Die Abgrenzung des Alpenen Muschelkalkes kann jedoch meist mit dem verhältnismäßig unvermittelten Einsetzen eines Riffschuttkalkes festgelegt werden (Tafel 2, Fig. 8). Es treten Spatit-Arenite bis Spatit-Rudite mit Übergängen auf, vereinzelt findet sich eine Gradierung („Turbidite“ nach SARNTHEIN, 1965, „allodapische Kalke“ nach MEISCHNER, 1964). Der Anteil des Biogendetritus nimmt zu. Auffallend sind Algen- und Crinoidenreste, äußerst typisch *Tubiphytes obscurus* MASLOV. Die Kalkbruchstücke sind eckig, meist schlecht sortiert und bilden durchwegs eine sperrige, selbsttragende Lagerung („geschlossenes Gerüst“), deren Zwicke mit Spatit ausgefüllt sind. Teilweise kann man auch kugelige Großoolithstrukturen beobachten, die zusammen mit den ruditischen, eckigen und unsortierten Kalkbruchstücken für verhältnismäßig riffnahen Riffschutt sprechen.

In einzelnen Gebieten leitet die Knollenfazies nach und nach in ebenflächige, feinkritische Bänke („Schlickbänke“) über. Die Abgrenzung der Muschelkalkfazies gegen die Wettersteinkalkfazies ist in diesem Fall schwierig. Eine Hilfe bietet das allmähliche Aussetzen der Hornsteinknollen, das Hellerwerden des Gesteines über den Knollenkalken sowie das Anwachsen der Bankmächtigkeit. Die Faziesgrenze zwischen Alpinem Muschelkalk und Wettersteinkalk kann bei diesen Gegebenheiten auf etwa 10 m genau in der Profilsäule festgelegt werden.

Eine Ausscheidung sogenannter „gebankter Partnach-Kalke“ zwischen Alpinem Muschelkalk und Wettersteinkalk, wie dies in jüngster Zeit aufgrund bestimmter Bankentwicklungen versucht wurde, ist kaum möglich. Die fraglichen Kalke stellen nämlich z. T. Mikrit-Kalke („Schlickbänke“), z. T. feinarenitische bis ruditische Riffschuttkalke dar, z. T. handelt es sich bereits um Gesteine des randlichen Riffkernes mit wirr gelagerten Riffgesteinsbruchstücken und Großoolithen (siehe Tafel 2, Fig. 8). Die sogenannten „gebankten Partnach-Kalke“ sind demnach faziell zum Wettersteinkalk zu stellen. Die Bezeichnung Partnach-Kalk sollte der Beckenfazies, d. h. jenen Kalken vorbehalten werden, die in den Partnachschiefern liegen.

3.3. Die Lage der Altersgrenze Anis/Ladin zur Faziesgrenze Alpenen Muschelkalk/Wettersteinkalk bzw. Alpenen Muschelkalk/Partnachschiefern

Die Lage dieser beiden Grenzen zueinander läßt sich mangels Fossilien nicht fixieren. Außerdem wären die hierzu erforderlichen paläontologischen Studien über das gesteckte Ziel dieser Arbeit hinausgegangen. Das Problem wurde in letzter Zeit des öfteren ausführlich diskutiert. Ein eindeutiges Ergebnis konnte jedoch nicht erzielt werden.

Solange im Grenzbereich von Alpinem Muschelkalk und Wettersteinkalk bzw. von Alpinem Muschelkalk und Partnachschiefern detaillierte makro- und mikropaläontologische Untersuchungen fehlen, kann dieses Problem nicht gelöst werden.

Einen Hinweis liefert folgende Beobachtung: Nähern sich die Profile dem zentralen Bereich des Partnachbeckens, so wird der Abstand des Tuffhorizontes zu den überlagernden Partnachschiefern im Profil immer geringer (siehe Tafel 4). In Profil a nördlich Wamberg liegt zwischen der hangenden Tuffbank und den Partnachschiefern nur noch eine einzige etwa 20 cm dicke Knollenkalkbank.

Setzt man voraus, daß die Tuffablagerung im betrachteten Sedimentationsraum mehr oder weniger gleichzeitig erfolgte, also eine Zeitmarke darstellt, so geht aus der oben geschilderten Lage der Tuffe innerhalb des Schichtenprofils hervor, daß im zentralen Teil des Partnachbeckens die Schiefersedimentation eher begonnen hat als in seinen

Randgebieten, in denen noch Knollenkalke der Muschelkalkfazies gebildet wurden. Dies weist darauf hin, daß Muschelkalkfazies und Partnachschieferfazies gleichzeitig sedimentiert wurden. Es ist zu vermuten, daß stellenweise auch Wettersteinkalk und Muschelkalk gleichzeitig zur Ablagerung kamen.

4. Paläogeographische Ergebnisse

In diesem Kapitel wird trotz der bekannten Problematik unter Anwendung des Aktualitätsprinzips versucht, das Bildungsmilieu der Reichenhaller Schichten und des Alpenen Muschelkalkes zu charakterisieren sowie die morphologische Entwicklung ihres Sedimentationsraumes aufzuzeigen.

4.1. Bildungsmilieu der Reichenhaller Schichten und des Alpenen Muschelkalkes

4.1.1. Reichenhaller Schichten

Die charakteristischen Gesteinstypen der Reichenhaller Schichten sind syngenetische Dolomite, Breccien, Rauhwacken und untergeordnet Mikrit-Kalke. Die Dolomite zeigen häufig eine durch Stromatolith-Algenrasen vom Typ LLH-S (= space-linked hemispheroids = flache, seitlich verbundene, halbkugelige, organische Sedimentstrukturen) bedingte Laminierung. Nach LOGAN, REZAK & GINSBURG (1964) entstehen diese Algenrasen im Gezeitenbereich warmer Meeresgebiete. Es muß sogar mit zeitweiligem Trockenfallen des Sedimentes gerechnet werden, da einzelne Sedimentlagen von Schrumpfrissen (Tafel 1, Fig. 3) durchsetzt sind, wie dies auch vom Gesteinstyp der Loferite beschrieben wurde (FISCHER, 1966; SANDER, 1936). Auch die syngenetischen Dolomite weisen ihrerseits auf eine Entstehung in extrem flachem, hochsalinarem Meerwasser im Gezeiten- bzw. Wellenbereich hin. Das Klima dürfte Ähnlichkeit mit dem der Bahama-Inseln gehabt haben, wo sich heute unter ozeanisch-subtropischen Bedingungen syngenetischer Dolomit bildet.

Die Bildung der Breccien und Rauhwacken erfolgte unter den gleichen klimatischen Bedingungen und ähnlicher Wassertiefe, da sich diese Gesteine häufig mit Stromatolith-Algenrasen verzahnen. Die Ursache für die Breccien- und Rauhwackenenentstehung können seismische Bodenunruhen, erhöhte Strömungsgeschwindigkeiten, rückflutende Gezeitenströme oder Setzungserscheinungen gewesen sein, die zu subaquatischem Sedimentgleiten mit Sedimentzerbrechen führten. Die auffallende Fossilarmut der Reichenhaller Schichten spricht für ungünstige Lebensbedingungen, die durch die hohe Salinität des Wassers bedingt waren. Die in den eingeschalteten Mikrit-Kalken auftretenden Stielglieder von *Dadocrinus gracilis* (BUCH) weisen darauf hin, daß auf dem in etwas tieferem und lebensfreundlicherem Wasser abgelagerten Kalkschlamm Seelilien siedelten.

4.1.2. Untere Gesteinsserie des Alpenen Muschelkalkes

Die Zunahme von Kalken im Übergang zu den Sedimenten der unteren Gesteinsserie des Alpenen Muschelkalkes spricht für ein allmähliches Tieferwerden des Meeres. Die Ablagerungsbedingungen für diese Gesteinsfolge mit Wurstelkalklagen, zwischen-geschalteten, z. T. arenit-mikritischen bis mikrit-arenitischen Kalkkompaktbänken sowie vereinzelt dolomitischen Kalken und kalkigen Dolomiten können, wie folgt,

angegeben werden: Die mikritischen, dünnbankigen Wurstelkalke mit Bioturbationsgefügen sprechen für ein sehr ruhiges Ablagerungsmilieu mit Schlammwühlertätigkeit von Kotpillenerzeugern (z. B. Würmern, Gastropoden). Schlickgerölle (Tafel 2, Fig. 1) und umgelagerte Grabgangfüllungen lassen eine zeitweise stärkere Wasserbewegung erkennen. Örtlich auftretende Fließfalten, Breccien und Rauhwacken, die sich z. T. auf engem Raum mit Stromatolith-Algenrasen verzahnen, sind als Flachwasserbildungen zu deuten.

Die z. T. arenit-mikritischen bis mikrit-arenitischen, kompakten Zwischenbänke mit undeutlichen Schrägschichtungen, stellenweise mit reichlich Crinoidendetritus, etwas Dasycladaceen-Schutt, Gastropodenresten und geringem Bitumengehalt zeigen eine bessere Durchströmung, Durchlüftung und Durchlichtung an. Die vereinzelt z. T. nicht eindeutigen, schlecht entwickelten Stromatolith-Algenrasen mit sehr flachen Kuppeln haben sich wahrscheinlich unterhalb des Gezeitenbereiches („subtidal“) entwickelt. Die hin und wieder eingeschalteten hellen, stark dolomitischen Kalkbänke bzw. kalkigen Dolomitbänke weisen darauf hin, daß es zeitweise in verschiedenen Bereichen dieses warmen Flachmeeres zur Erhöhung der Salinität und zu syngenetischer bis frühdiagenetischer Entstehung von Dolomit kam, wobei sich blaugrüne und grüne Algen ansiedelten und zur Stromatolithbildung führten (Tafel 1, Fig. 3).

4.1.3. Mittlere Gesteinsserie des Alpinen Muschelkalkes

Die Bankmächtigkeit über der unteren Gesteinsserie nimmt rasch bis zur Dickbankigkeit, meist bis zur Massigkeit zu. Dies dürfte die Folge einer zunehmenden Absenkungsgeschwindigkeit des Meeresbodens sein, verbunden mit einer erhöhten Sedimentbildung und -anlieferung. Die Farbe wird heller, der Komponentenanteil wächst. Außer Mikriten und Areniten treten stellenweise Gesteinstypen von arenitischem Spatit-Rudit auf. Im unteren Teil der mittleren Gesteinsserie stellen sich häufig gut ausgebildete Stromatolith-Algenrasen von Typ LLH-S ein, die eindeutige bathymetrische Hinweise liefern: Sedimentbildung im Gezeitenbereich, d. h. gut durchlüftetes und durchlichtetes Flachwasser. Im mittleren Teil breitet sich gebietsweise reichlich Biogendetritus mit Algen (*Physoporella praealpina* ПИА, *Teutloporella peniculi-formis* OTT), nicht näher bestimmbarer Zweischalerresten, Crinoidenbruchstücken, Brachiopodennestern und *Tubiphytes obscurus* MASLOV aus. Algenschutt tritt zuweilen derart gehäuft auf (Tafel 2, Fig. 2), daß mit einer zeitweisen Ansiedlung von Dasycladaceen-Rasen gerechnet werden muß. In diesen Bereichen kommt es auch zur Ausbildung von großwüchsigen Onkoiden (Mumien, Tafel 1, Fig. 8). Die gesamte Faunen- und Florengemeinschaft weist auf ein lebensfreundliches Milieu mit sauerstoffreichem, warmem, gut durchlüftetem Wasser hin. Da mancherorts mikritische Sedimentanteile in diesen arenit-ruditischen Biogendetrituskalken mit geschlossenem Gerüst völlig fehlen, dürfte die Wasserturbulenz zur Zeit der Sedimentation ziemlich hoch gewesen sein (Tafel 2, Fig. 2). Dadurch wurde eine gute Durchlüftung bewirkt. SARNTHEIN (1965) bezeichnet diesen Biogendetrituskalk als Riff. Die typischen Riffeigenschaften, nämlich wellenresistente Riffgerüste, fehlen jedoch. Abschnitte mit mikritischen und arenit-mikritischen Kalken der mittleren Gesteinsserie sind in Stillwasserbereichen entstanden, in die hin und wieder kleine Crinoidenbruchstücke, Tubiphyten und Filamente eingeschwemmt wurden.

Im Übergang zur oberen Gesteinsserie treten verschiedentlich arenitische bis ruditische Crinoidenspatkalke auf, die als zusätzlichen Biogendetritus Schalenreste, etwas Algenschutt und Tubiphyten führen. Diese Anhäufung von Crinoidenstieligliedern könnte man als Spülsäume deuten, die auch rezent beobachtet werden.

4.1.4. Obere Gesteinsserie des Alpenen Muschelkalkes

Die obere Gesteinsserie des Alpenen Muschelkalkes ist charakterisiert durch Knollenkalke mit einem wechselnden Gehalt an Hornsteinputzen und Einschaltungen von Tuffen und Tuffiten. Die Knollengefüge sind wohl im Sinne von WEBER (1965) durch Zerlegung bereits verfestigter Kalklagen, d. h. spät-diagenetisch entstanden. „Diese erfolgte teils an Drucksuturen und Horizontalklüften, die durch Lösung erweitert wurden, teils durch Vertikalklüftung, Boudinage und Schieferung, wobei ebenfalls Lösungsvorgänge die Trennfugen erweiterten.“

Möglich ist auch die Bildung von Hart- und Weichböden durch Subsolution im Sinne von Arn. HEIM (1934) und HOLLMANN (1962, 1964). Eine wichtige Rolle dürften außerdem Drucklösungsvorgänge gespielt haben (TRURNIT, 1967, 1968 a, b).

Die Anreicherung von Kieselsäure zu Hornsteinknollen kann mit ULRICH (1960) als syngenetisch bis frühdiagenetisch angenommen werden. Als Kieselsäurelieferant könnten vulkanische Exhalationen im Zusammenhang mit anderen vulkanischen Erscheinungen (Einschaltung von Tuffen usw.) gewirkt haben. Es wäre auch möglich, daß die Kieselsäure zunächst von Organismen mit kieseligem Skelett eingebaut und bei der Hornsteinknollenbildung den Schalenresten wieder entzogen wurde.

Der Knollenkalk ist arm an Biogendetritus. Außer wenigen Crinoidenbruchstücken, Echinodermenresten und Foraminiferen finden sich lediglich massenhaft Filamente und stellenweise angehäufte Brachiopodenschälchen. BECHSTÄDT & BRANDNER (1970) geben für entsprechende Knollenkalke aufgrund von Glomospiren (Foraminiferen) einen ruhigen, schlammigen, etwa 30 m tiefen Sedimentationsbereich an. Für ein derartiges Milieu spricht auch das Fehlen von Stromatolith-Algenrasen und Dasycladaceen.

Im hangenden Teil der Knollenkalk-Serie kommt es zur Ablagerung von vulkanischen Gesteinen. Die Absätzigkeit und die starken Mächtigkeitsschwankungen der Tuff- und Tuffiteinschaltungen sprechen für eine Zusammenschwemmung an geeigneten Stellen des Meeresbodens und vielleicht für eine zeitweise stärkere Wasserbewegung. Die roten Tuffe und Tuffite im südlichen Bereich von Zone IV deuten möglicherweise, ebenso wie die roten Hornsteinknollenkalke, ein oxydierendes Milieu an.

In Zone I fehlen „pietra verde“-Einschaltungen (Tafel 6). Dieses nördliche Randgebiet des Sedimentationsbeckens ist vermutlich von der Zufuhr vulkanogener Sedimente nicht erreicht worden. Die in Kap. 3.3. dargelegten Beobachtungen sprechen für die Möglichkeit, daß auch in den Partnachschiefern Tuffe und Tuffite abgelagert wurden.

In den hangendsten Knollenkalkbänken deutet sich gebietsweise bereits die Rifffazies des Wettersteinkalkes an. Im Nordteil der Zone III (Abb. 5) (Wettersteingebirge; Nördliche Karwendelkette) sowie in der Zone IV stellen sich im Niveau der oberen Knollenbänke bereits Spatit-Arenite bis spatitische Arenit-Rudite mit Kalkbruchstücken und Tubiphyten ein, die ein geschlossenes Gerüst bilden. Das Fehlen von Mikrit sowie die auffallende Komponentengröße deuten eine Zunahme der Wasserturbulenz an. Die Wassertiefe ist in Abnahme begriffen, denn wenige Profilmeter höher setzen die Riffschuttkalke des Wettersteinkalkes mit Dasycladaceen, Codiaceen, reichlich Tubiphyten und onkoidartigen Strukturen ein. Damit treten wieder Zeugen für ein lebensfreundliches Milieu auf. In den Zonen I, II und V hält die mikritische Fazies im gesamten Abschnitt der Knollenkalke an und leitet in die Stillwasserfazies der Partnachschiefer über. SARNTHEIN (1967) gibt für den Sedimentationsraum der Partnachschiefer eine Wassertiefe von 200 m an. Setzt man für die Knollenkalke eine Bildungstiefe von zirka 30 m voraus, so besagen obige Beobachtungen und Überlegungen, daß mit dem Übergang in die Ladin-Fazies eine deutliche Differenzierung des Sedimentationsraumes in Gebiete mit unterschiedlicher Wassertiefe eintritt.

4.2. Die morphologische Entwicklung des anisischen Sedimentationsraumes im Untersuchungsgebiet (Tafel 6, 7 und Abb. 6, 7)

Die Rekonstruktion des anisischen Sedimentationsraumes bereitet insofern Schwierigkeiten, als die Sedimente durch tektonische Vorgänge verfault und verlagert worden sind. Außerdem ist der Nord- und Südrand der Kalkalpen tektonisch und erosiv stark verändert. Um über die Breite des Ablagerungsraumes zur Zeit des Anis im Untersuchungsgebiet eine Vorstellung zu gewinnen, wurde in verschiedenen Darstellungen die Faltung ausgeglättet, d. h. die heutige Erstreckung vom Kalkalpen-Nordrand bis zum Inn um 50% vergrößert.

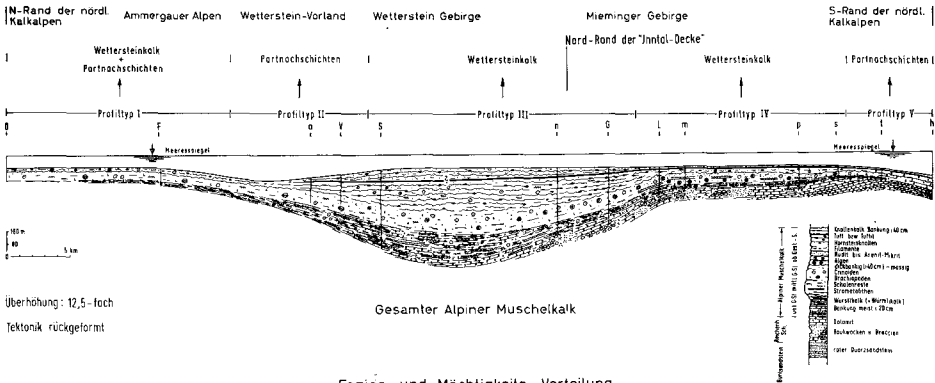
Die im folgenden diskutierten Verhältnisse vermitteln eine Vorstellung, die sicherlich nur allgemein und im großen den Gegebenheiten zur Zeit des Anis entspricht.

Die Mächtigkeit des Alpenen Muschelkalkes nimmt in den Nördlichen Kalkalpen zwischen Lech und Isar von zirka 120 *m* im Norden (Zone I) auf 250—500 *m* in den zentralen Bereichen (Zone II und III) zu. Gegen Süden (Zone IV und V) geht seine Mächtigkeit wieder auf zirka 100 *m* zurück. Darin zeichnet sich offenbar eine Beckenform des Ablagerungsraumes ab (Tafel 7 und Abb. 6 und 7).

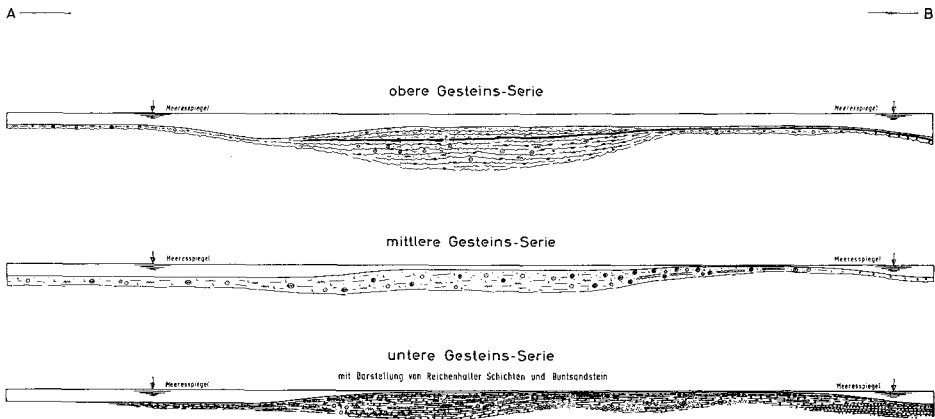
Mit Hilfe der Mächtigkeitsunterschiede der Gesamtprofile sowie einzelner Profilabschnitte kann auf verschieden große Absenkungsgeschwindigkeiten des anisischen Meeresbodens geschlossen werden. In mehreren neueren Arbeiten, die sich mit unterschiedlichen Mächtigkeitsausbildungen in einem bestimmten Zeitabschnitt beschäftigen, wird die Absenkungsgeschwindigkeit bzw. der Absenkungsbetrag proportional zur Sedimentmächtigkeit gesetzt. Es ist jedoch zu bedenken, daß die Mächtigkeit ein Ergebnis des Absenkungsbetrages und des Sedimentangebotes, d. h. von Sedimentbildung und Sedimentanlieferung ist. In Räumen mit gleichen Absenkungsbeträgen können aufgrund eines unterschiedlichen Sedimentangebotes unterschiedliche Mächtigkeiten entwickelt werden. Zwangsläufig entstehen jedoch gleichzeitig unterschiedliche Wassertiefen. Der Absenkungsbetrag innerhalb eines Zeitraumes spiegelt sich also sowohl in der Mächtigkeit wie auch in der Änderung der Wassertiefe wider. Auf Abb. 6 sind die Absenkungsbeträge für die untere, mittlere und obere Gesteinsserie sowie für den gesamten Alpenen Muschelkalk erkennbar.

Betrachtet man die Mächtigkeit der Reichenhaller Schichten und des Alpenen Muschelkalkes gemeinsam, so kann man daraus das unterschiedliche Verhalten des Meeresbodens im anisischen Sedimentationsraumes ersehen. Die unterschiedliche Mächtigkeit der Reichenhaller Schichten am Kalkalpen-Südrand und in den zentralen Gebieten ist auffallend. In den Profilen h (Tafel 4) und v (Tafel 4) (Inntal) schalten sich zwischen den Buntsandstein und den Alpenen Muschelkalk lediglich einige helle Dolomitbänke ein, welche ein Äquivalent der Reichenhaller Schichten darzustellen scheinen. Im Mieminger und Karwendelgebirge (Tafel 4) sind dagegen bis knapp 100 *m* Reichenhaller Schichten erschlossen. Neben unterschiedlichen Absenkungsbeträgen an der Wende Skyth—Anis könnte auch ein Relief auf der Buntsandstein-Oberfläche für die unterschiedliche Ausbildung verantwortlich gewesen sein. Das von Osten vordringende Meer erreichte zu jener Zeit den Südrand des Ablagerungsraumes nur stellenweise und ließ lediglich im zentralen Gebiet die Gesteine der Reichenhaller Schichten entstehen.

Unterschiedliche Mächtigkeiten (Abb. 6) der unteren Gesteinsserie bei etwa gleicher Wassertiefe deuten eine beginnende unterschiedliche Absenkung des Meeresbodens an. Die verschieden große Mächtigkeit könnte auch darauf hinweisen, daß die Ablagerung der Wurstelkalke auf bestimmte ökologische Bedingungen und paläogeographische Räume beschränkt ist (vgl. SARNTHEIN, 1965).



Fazies- und Mächtigkeits-Verteilung
im Sedimentationsraum des Alpiner Muschelkalkes
in den Nördl. Kalkalpen im Bereich der Profilinie A—B (siehe Tafel 3)



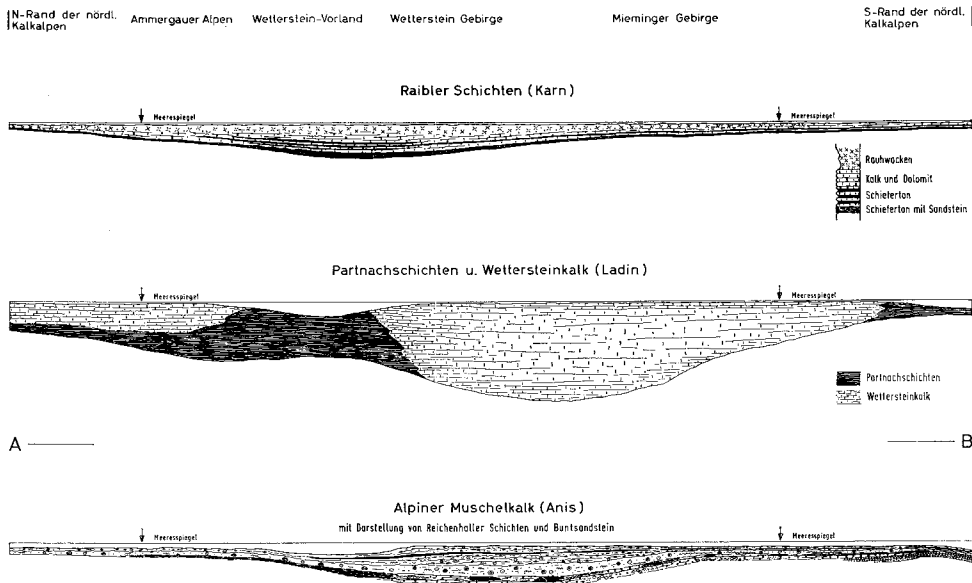
FRISCH 1968

Abb. 6

Mit Beginn der mittleren Gesteinsserie nimmt die Bankmächtigkeit bis zur Dickbankigkeit, meist bis zur Massigkeit zu. Diese Erscheinung dürfte eine Erhöhung der Absenkungsgeschwindigkeit andeuten.

Im nördlichen Teil der Zone IV (Wannig, südlicher Bereich des zentralen Mieminger Gebirges, Nördliche Karwendelkette) entwickeln sich auf einem morphologischen Schwellengebiet mit geringer Wassertiefe und hoher Turbulenz Dasycladaceen-Rasen, Stromatolith-Algenrasen sowie Onkoidlagen. Die Algenskelette werden stellenweise gesteinsbildend (Tafel 2, Fig. 2). In den umgebenden Gebieten herrschen ruhigere Sedimentationsverhältnisse und tieferes Wasser, verbunden mit einer Verschlechterung der Lebensbedingungen: Dasycladaceen und Stromatolith-Algen verlieren hier an Bedeutung. Lediglich den Crinoiden und Brachiopoden scheinen die Lebensbedingungen noch entsprochen zu haben (Tafel 6). Die unterschiedlichen Mächtigkeiten und Absenkungsbeträge für die mittlere Gesteinsserie gehen aus Tafel 7 und Abb. 6 hervor. Die Mächtigkeit wächst von zirka 60 m im Norden auf knapp 100 m im zentralen Bereich an. Gegen den Südrand der Nördlichen Kalkalpen hin nimmt sie wieder auf etwa 50 m ab.

Die Mächtigkeitsverteilung für die obere Gesteinsserie geht aus Abb. 6 deutlich hervor. Während am Nordrand Mächtigkeiten von 22 bis 50 m auftreten, erreicht im zentralen Bereich (Zone II und III) dieses Paket 130—200 m. In den südlichen



Schematisierte Darstellung der Mächtigkeits- u. Fazies-Verteilung im Sedimentationsraum des Alpiner Muschelkalkes (Anis), der Partnachsichten u. des Wettersteinkalkes (Ladin) und der Raibler Schichten (Karn) im Bereich der Profilinie A — B (siehe Tafel 3)

Frisch 1968

Unter Verwendung von H. Jorz 1956, O. Kraus & P. Schmidt-Thomé 1967 u. a.

Überhöhung : 5-fach
Tektonik rückgeformt

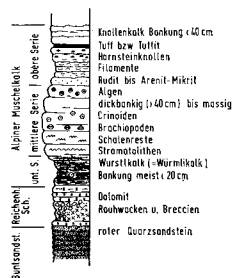
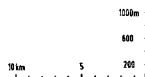


Abb. 7

Zonen IV und V werden 50 m kaum überschritten. Dies weist auf eine wesentlich stärkere Absenkung in den Zonen II und III als in den Zonen I, IV und V hin.

Die für die obere Gesteinsserie typischen Einschaltungen von Tuffen und Tuffiten zeigen recht unterschiedliche Mächtigkeiten (Tafel 6). Die mächtigsten „pietra verde“-Lagen finden sich im Wettersteingebirge (Zone III), dem Gebiet der stärksten Absenkung, wo eine verstärkte Sedimentation der vulkanischen Sedimente stattfand. Die Annahme einer Förderung der vulkanischen Gesteine in diesem Bereich ist von MILLER (1962) in Erwägung gezogen worden. In der Zone mit Profiltyp II herrscht eine fast ebenso große Absenkung wie in Zone III (Abb. 6), das Sedimentangebot dürfte jedoch in Zone II geringer gewesen sein, so daß es hier zur Entwicklung einer größeren Wassertiefe und damit zur Ausbildung einer beckenartigen Depression kommt.

In den Bereichen III und IV schafft das Zusammenwirken von Absenkung und Sedimentanhäufung am Ende des Anis ein Milieu, das ein Riffwachstum ermöglicht: sauerstoffreiches, klares und warmes Flachwasser, in dem sich die Absenkung des Meeresbodens und die Sedimentation mehr oder weniger die Waage halten.

Wie die Abb. 4, 5, Tafel 6 und 7 zeigen, entwickelt sich über den Zonen III und IV die Rifffazies des Wettersteinkalkes. In den Zonen I, II und V, in denen an der Wende Anis/Ladin die Voraussetzungen für ein Riffwachstum fehlen, wird stattdessen die

Beckenfazies der Partnachsichten sedimentiert. Im Laufe des Ladins stellen sich auch in Zone I Milieubedingungen ein, die über anfänglichen Beckensedimenten (Partnachsichten) ein Riffwachstum (Wettersteinkalk) ermöglichen (Abb. 4—5).

Auf Abb. 7 ist die Mächtigkeitsentwicklung im Anis (Alpiner Muschelkalk), im Ladin (Wettersteinkalk und Partnachsichten) und im Karn (Raibler Schichten) auf einem Nord—Süd-Schnitt durch das Untersuchungsgebiet dargestellt. Daraus geht hervor, daß die Trogachse (= Bereich größter Mächtigkeitsentwicklung) sich in der Zeit vom Anis bis zum Ladin lagemäßig kaum verändert. Vom beginnenden Ladin bis zum Ende des Karn verlagert sie sich dagegen um 15 km nach Norden. Dies entspricht einem Zeitraum von etwa 15 Millionen Jahren. Daraus ergibt sich eine Wanderung der Trogachse nach Norden um 1 km pro 10^6 Jahre bzw. 1 m pro 10^3 Jahre (= 1 mm/Jahr). SCHMIDT-THOME (1961) errechnet für das Molassebecken einen Wert von 2 m pro 10^3 Jahre (= 2 mm/Jahr).

5. Tektonische Folgerungen

5.1. Der Nordrand der „Inntal-Decke“ zwischen Ehrwald und Westlicher Karwendelspitze (Nördliche Karwendelkette)

Die sedimentologischen Untersuchungen des Alpiner Muschelkalkes im Wettersteingebirge, im Mieminger Gebirge, am Arnspitz-Stock und am Westausläufer der Nördlichen Karwendelkette erlauben Aussagen zur Art und zum Ausmaß der Überschiebungstektonik am Nordrand der „Inntal-Decke“. Eindeutige Ergebnisse liefern die unmittelbar an der „Inntal-Decken-Grenze“ im Arnspitz-Gebiet (Profil P, P', z') und am Westende der Nördlichen Karwendelkette (Profil n und z) liegenden Schichtfolgen des Alpiner Muschelkalkes. Die der „Inntal-Decke“ angehörenden Säulenprofile z und z' zeigen auffallende lithofazielle Unterschiede zu den Profilen P, P' und n, die zur „Lechtal-Decke“ zu stellen sind (Tafel 4 und 5; vgl. auch FRISCH, 1964). Die Profile P, P' und n gehören der Fazieszone III (= Profiltyp III), die Profile z und z' der Fazieszone IV (= Profiltyp IV) an (Abb. 4 und 5; Tafel 4).

Mit Hilfe des Nord—Süd-Abstandes des Profiles S (nordwestliches Wettersteingebirge; Tafel 5) von den Profilen J bzw. L (zentrales Mieminger Gebirge; Tafel 5) ist es möglich, die Mindestüberschiebungsweite der „Inntal-Decke“ im Arnspitz-Gebiet und am Westende der Nördlichen Karwendelkette festzulegen. Profil S gehört dem Profiltyp III an und entspricht lithofaziell den Profilen P, P' und n, die Profile J und L sind zum Profiltyp IV zu stellen und entsprechen den Profilen z und z' (Tafel 5). Zwischen den Säulenprofilen S und J bzw. L liegt eine Nord—Süd-Entfernung von etwa 8 km. Im Arnspitz-Gebiet und am Westende der Nördlichen Karwendelkette grenzen die Profile der „Lechtal-Decke“ P, P' und n (Profiltyp III) sowie die Profile der „Inntal-Decke“ z und z' (Profiltyp IV) unmittelbar an der „Deckengrenze“ aneinander (Tafel 5). Der auch in diesen Gebieten zu erwartende Nord—Süd-Abstand von zirka 8 km der Profile P, P' und n von den Profilen z und z' ist auf wenige 100 m zusammengeschrumpft.

Aus den Faziesvergleichen und der Nord—Süd-Entfernung des Profiles S von den Profilen J bzw. L einerseits und den Nord—Süd-Abständen der Profile P und P' von Profil z' sowie des Profiles n von Profil z andererseits geht hervor, daß die Überschiebung im Arnspitz-Gebiet und am Westende der Nördlichen Karwendelkette mindestens 8 km beträgt. Die Fazieszone III ist in diesen Gebieten nahezu vollkommen von Zone IV überfahren, so daß sich weiter im Osten nur noch Alpiner Muschelkalk vom Profiltyp IV finden sollte. Einige Übersichtsbegehungen im östlich anschließenden Karwendelgebirge sprechen für diese Schlußfolgerung.

Der Nord—Süd-Schnitt auf Abb. 6, der westlich des Wettersteingebirges verläuft, zeigt, daß die Schichtenprofile S, n, G und L eine allmähliche paläogeographische Entwicklung in Nord—Süd-Richtung andeuten. Faziesprünge im Bereich der „Deckenzone“ sind hier nicht zu beobachten. Eine deutliche Überschiebung ist im Bereich des Nord—Süd-Schnittes (Abb. 6) also nicht vorhanden. Die „Inntal-Decke“ hat demnach nicht den Charakter einer Ferndecke. Die von Ehrwald nach Osten zunehmende Überschiebungswerte läßt sich durch eine Drehbewegung der überschiebenden „Inntal-Decke“ entgegen dem Uhrzeigersinn erklären. Der Drehpunkt lag im Gebiet des Ehrwalder Beckens. Westlich dieses Gebietes sind Aussagen zum Charakter der „Inntal-Decke“ aufgrund sedimentologischer Befunde nicht möglich, da hier Profile des Alpenen Muschelkalkes fehlen.

5.2. Zur Stellung der Larsenn-Scholle

Die sedimentologischen Untersuchungsbefunde im Alpenen Muschelkalk sprechen für eine ortsnahe Verwurzelung der Larsenn-Scholle. Das an ihrem Südrand aufgenommene Profil p zeigt große lithofazielle Ähnlichkeiten mit Profil m am Wannig (westliches Mieminger Gebirge; Tafel 4 und 5). Die Ausbildung des Alpenen Muschelkalkes im Gebiet der Larsenn-Scholle fügt sich zwanglos in Zone IV (Abb. 5) mit Profiltyp IV ein. Ein Vergleich mit den Profilen h und t (Tafel 4) aus dem Gebiet südlich des Inn (Zone V, Abb. 5) zeigt auffallende Unterschiede. Nimmt man mit SARNTHEIN (1967) südlich des zentralen Wetterstein-Riffes ein Partnach-Becken an (Abb. 4 und Tafel 7), so sind dort für den unterlagernden Alpenen Muschelkalk Profile vom Typ V zu erwarten. Eine Beheimatung der Larsenn-Scholle mit Alpenem Muschelkalk vom Typ IV ist demzufolge in diesem Gebiet nicht möglich, so daß eine Autochthonie der Larsenn-Scholle sehr wahrscheinlich ist.

5.3. Zur Stellung des Mittelostalpins

TOLLMANN (1959, 1965) unterscheidet ein Oberostalpin (Nördliche Kalkalpen) von einem Mittelostalpin, das als tiefere tektonische Einheit von den Nördlichen Kalkalpen überfahren wurde. Das Mittelostalpin besteht aus Kristallin, das stellenweise eine eigene, lückenhafte Hülle von (zentralalpinem) Mesozoikum trägt. Zum Mittelostalpin gehört unter anderem das Ötztalkristallin mit seiner sedimentären Bedeckung in den Kalkkögeln und am Jaggl.

Da das Mittelostalpin nach TOLLMANN (1965) ursprünglich nördlich des Oberostalpins lag, wäre eine lithofazielle Verwandtschaft zwischen Mittelostalpin und Nordzone der Nördlichen Kalkalpen zu erwarten (Abb. 1 und Tafel 5). Die sedimentologischen Untersuchungen der Reichenhaller Schichten und des Alpenen Muschelkalkes in den Nördlichen Kalkalpen (Oberostalpin) zwischen Lech und Isar zeigen aber, daß die faziellen Beziehungen des Mittelostalpins (im Sinne TOLLMANNs) zum Südrand der Nördlichen Kalkalpen wesentlich auffälliger sind als zur Nordzone der Nördlichen Kalkalpen.

Die beiden Säulenprofile auf Abb. 8 zeigen die auffallend ähnliche Entwicklung der Anis-Sedimente am Südrand der Nördlichen Kalkalpen (= Oberostalpin im Sinne TOLLMANNs) und in den Kalkkögeln (= Mittelostalpin im Sinne TOLLMANNs). Nach SARNTHEIN (1965) liegen in den Kalkkögeln (Hoadl) über dem Basis-Quarzit (Buntsandstein) nur 17 m mächtige Dolomite, die er für Reichenhaller Schichten hält. Diese Dolomite enthalten reichlich eingeschwemmten Quarz. Profil h (am Kalkalpen-Südrand, Abb. 8) weist über dem Buntsandstein geringmächtige (≈ 5 m), quarz- und muskowithaltige Dolomite als Äquivalent der Reichenhaller Schichten auf. Als weitere Gemeinsamkeit kann die Führung von ? detritischen Hellglimmern und detritischem Quarz in den laminierten Dolomiten des Alpenen Muschelkalkes angesehen werden.

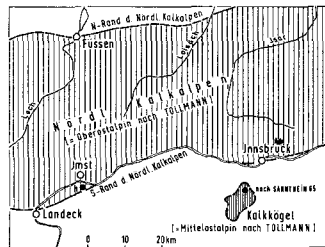
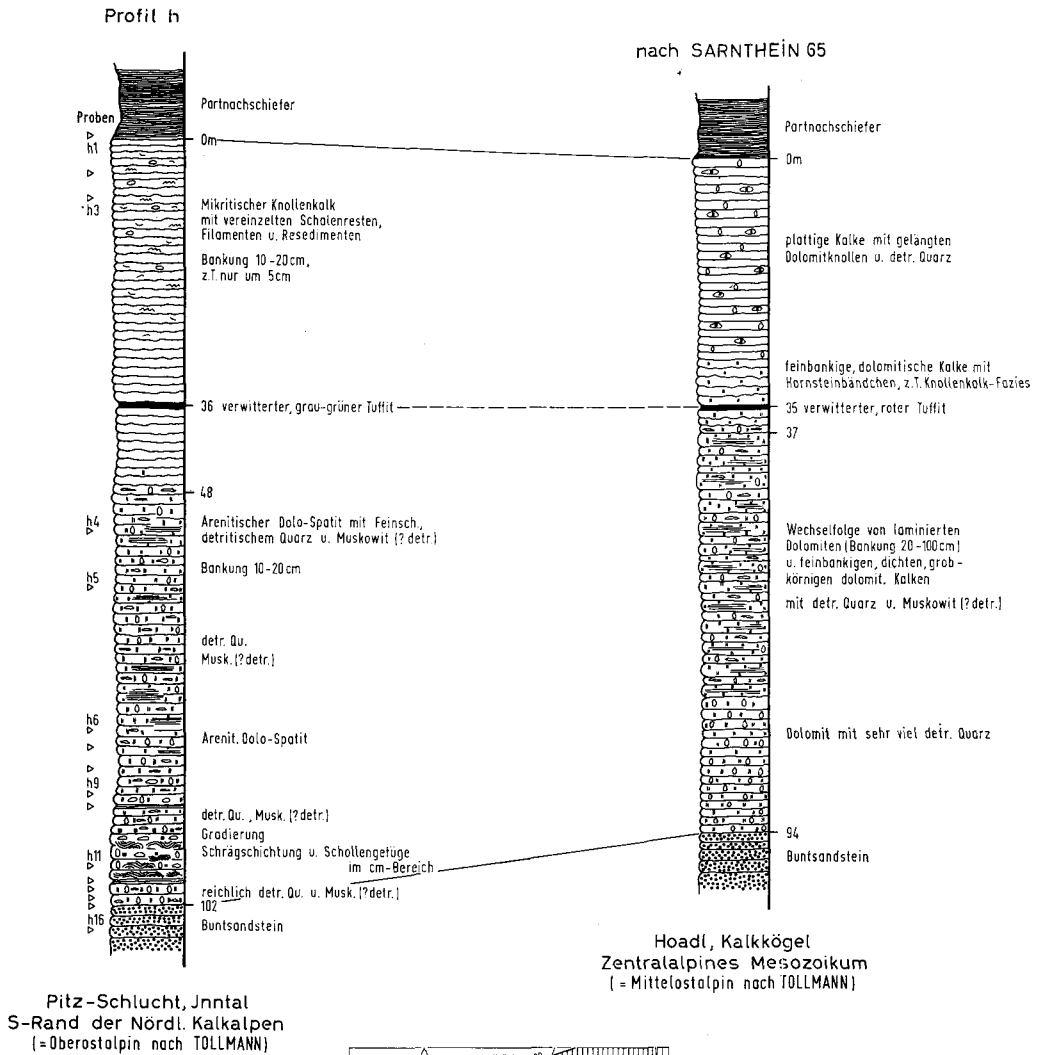
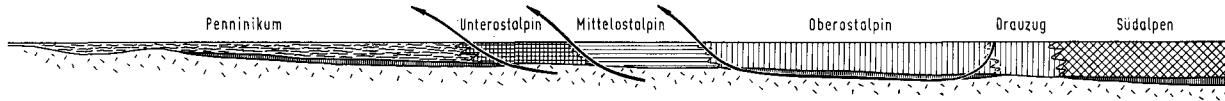
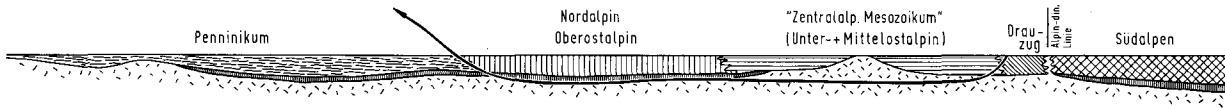


Abb. 8: Vergleich eines Profiles des Alpenen Muschelkalkes vom Südrand der Nördlichen Kalkalpen (=Oberostalpin nach TOLLMANN) mit einem entsprechenden Profil aus den Kalkkögeln (=Zentralalpines Mesozoikum, Mittelostalpin nach TOLLMANN)

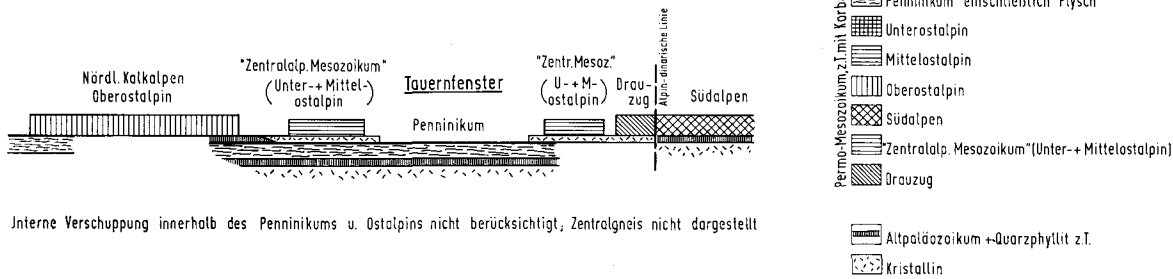
Nach TOLLMANN



Arbeitshypothese nach Befunden von JERZ 1964,65,66, SARNTHÉIN 1965,66,67, SCHULER 1967,68, HARSCH 1968, KRAUS 1968 u. eigenen Ergebnissen



Lagebeziehungen nach der Überschiebung



Interne Verschuppung innerhalb des Penninikums u. Ostalpins nicht berücksichtigt, Zentralgneis nicht dargestellt

FRISCH 1968

Abb. 9: Stark schematisierte Skizzen zur Anordnung von Fazieszonen in den westlichen Ostalpen

Zusätzliche Anzeichen für eine lithofazielle Ähnlichkeit des Mittelostalpins (im Sinne TOLLMANN'S) mit dem Südrand des Oberostalpins liefern die Tuffvorkommen in den Kalkkögeln, am Jaggl und am Südrand der Nördlichen Kalkalpen. Im nördlichen Bereich der Kalkalpen fehlen derartige vulkanische Gesteine (Tafel 4 und 6). Auffallend ist das gemeinsame Vorkommen von roten Tuffen und Tuffiten in den Kalkkögeln (SARNTHÉIN, 1965) und am Südrand der Nördlichen Kalkalpen im Inntal zwischen Imst und Mötzt in den Profilen r und s (siehe Tafel 4 und 5). Es besteht außerdem Ähnlichkeit zwischen den „pietra-verde“-Gesteinen des Jaggl-Gebietes und des Süd-

randes der Nördlichen Kalkalpen. Diese Ergebnisse sprechen gegen die Ansicht TOLLMANN'S (1965), daß das weitgehende Fehlen von Vulkaniten in der Trias des Mittelostalpins ein allgemeines Unterscheidungsmerkmal zur nordalpinen (= oberostalpinen) Fazies darstellt.

Die nach TOLLMANN mittelostalpinen Anis-Sedimente der Kalkkögel und des Jaggl zeigen einige bemerkenswerte Faziesverwandtschaften zum Südrand der Nördlichen Kalkalpen (Oberostalpin im Sinne TOLLMANN'S). Demnach dürfte dieser „mittelostalpine“ Abschnitt der ostalpinen Geosynklinale bereits vor der Deckenbewegung südlich des nordalpinen Sedimentationsraumes gelegen haben. Die Begriffe Mittelostalpin bzw. mittelostalpinen Mesozoikum verlieren damit ihre tektonische Bedeutung und sind besser durch die neutralen Bezeichnungen Zentralalpin bzw. zentralalpines Mesozoikum zu ersetzen. HIRSCH (1966), JERZ (1964,) SARNTHEIN (1967), SCHULER (1968) und HARSCH (1968) gelangen aufgrund sedimentologischer Untersuchungen unter- und mitteltriadischer Gesteine ebenfalls zur obigen Vorstellung über die ursprüngliche Nord—Süd-Anordnung der kalkalpinen Teiltröge der ostalpinen Geosynklinale.

Verbindet man die obigen Befunde mit der Existenz eines Tauernfensters, so erhält man für die ostalpine Geosynklinale die auf Abb. 9 dargestellte Anordnung der Faziesräume. Die unter dem zentralalpines Mesozoikum gelegene Kristallinschwelle (Abb. 9, 2. Bild) soll die Liefergebiete andeuten, die nach JERZ (1964), SCHULER (1968) und HARSCH (1968) für die Nördlichen Kalkalpen im Süden sowie nach O. KRAUS (1968) für den Drauzug im Norden angenommen werden müssen. Auch im Alpenen Muschelkalk deuten detritischer Quarz sowie Muskowit, die in den Profilen am Südrand der Nördlichen Kalkalpen und in den Kalkkögeln auftreten, eine relativ landnahe „Randfazies“ an.

Die im 2. Bild auf Abb. 9 wiedergegebene Darstellung soll vorerst nur als Arbeitshypothese gelten. Weitere Faziesvergleiche von nordalpinen, zentralalpines und südalpines Triasprofilen könnten mehr Klarheit in die immer noch problematische, primäre Nord—Süd-Anordnung der kalkalpinen Teiltröge der ostalpinen Geosynklinale und damit in den großtektonischen Bau der Ostalpen bringen.

6. Angeführte Literatur

- AMPFERER, O. & HAMMER, W.: Geologische Beschreibung des südlichen Teiles des Karwendelgebirges. — Jb. Geol. R. A., 48, S. 289—374, Wien 1899.
- ARTHABER, G. v.: Die Alpine Trias des Mediterran-Gebietes. — In: FRECH, Leth. geogn., S. 223—472, Stuttgart, 1903—1908.
- BACELLE, L. & BOSELLINI, A.: (Schaubilder zum Schätzen), Annali di Università di Ferrara. — N. S., Sez. IX, Sci. Geol. Pal., IV (3), 24 Tafeln, Ferrara 1965.
- BECHSTÄDT, T. & BRANDNER, R.: Das Anis zwischen St. Vigil und dem Höhlensteintal (Pragser und Olaner Dolomiten, Südtirol). — Festband d. Geol. Inst., 300-Jahr-Feier Univ. Innsbruck, S. 9—103, Innsbruck 1970.
- BISSEL, H. J. & CHILINGAR, G. V.: Classification of sedimentary carbonate rocks. In: Carbonate Rocks. Edit.: BISSEL, H. J. et al. — Developments in Sedimentology 9 A, S. 87—168, Elsevier, Amsterdam—London—New York 1967.
- : Comments on Theodorovich's „Structural classification of limestones and dolomites“, and Shvetsov's „Genetic classification of limestones“. — J. Sediment. Petrol. 31, S. 611—616, Tulsa 1961.
- CLOUD, Pr. E.: Environment of calcium carbonate deposition West of Andros Island Bahamas. — Geol. Surv. Prof. Paper, 350, S. 1—138, Washington 1962.
- CURTIS, R., EVANS, G. et al.: Association of dolomite and anhydrite in the recent sediments of the Persian Gulf. — Nature, 197, S. 670—680, London 1963.

- DEATWYLER, C. C. & KIDWELL, A. L.: The Gulf of Batabano, a modern carbonate basin. — World Petrol. Congr. Prov., 5, S. 1—21, New York 1959.
- EARDLEY, A. J.: Sediments of Great Salt Lake, Utah. — Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol., 22, S. 735—806, Tulsa 1938.
- FISCHER, A. G.: The Lofers Cyclothems of the Alpin Triassic. — Kansas Geol. Surv. Bull., 169, S. 107—149, Kansas (1964) 1966.
- FLÜGEL, E.: Algen aus dem Perm der Karnischen Alpen. — Carinthia II, Sonderheft 25, 76 S., Klagenfurt 1966.
- FLÜGEL, E. & KIRCHMEYER, M.: Zur Terminologie der Ooide, Onkoide und Pseudooide. — N. Jb. Geol. Paläont., Mh., 3, S. 113—123, Stuttgart 1962.
- FOLK, R. L.: Practical petrographic classification of limestones. — Bull. Americ. Ass. Petrol. Geol. 43, 1, S. 1—39, Tulsa 1959.
- : Spectral subdivision of limestone types. In: Classification of carbonate rocks. Edit.: W. E. HAM. — Americ. Ass. Petro. Geol., Memoir 1, S. 62—84, Tulsa 1962.
- FRISCH, J.: Zur Geologie der nördlichen Karwendelkette im Bereich des Kirchlkars zwischen Isartal im Westen und Karwendeltal im Osten (Tirol). — Dipl. Arb., Inst. f. Geologie, 66 S., Techn. Hochschule München 1964.
- GERMANN, K.: Ablauf und Ausmaß diagenetischer Veränderungen im Wettersteinkalk (alpine Mitteltrias). — Diss. Univ., 122 S., München 1966.
- GINSBURG, R. N.: Environmental relationship of grain size and constituent particles in some south Florida carbonate sediments. — Bull. Americ. Ass. Petrol. Geol., 40, 10, S. 2384—2427, Tulsa 1956.
- : Early diagenesis and lithification of shallow-water carbonate sediments in South-Florida. — Soc. of Econ. Pal. and Min., Spec. Publ., 5, S. 80—100, Tulsa 1957.
- : Ancient analogues of recent stromatolites. — XXI. Intern. Geol. Congr., part 22, S. 26—35, Copenhagen 1960.
- GROTTENTHALER, W.: Zur Geologie des Tschirgant zwischen Gurgl-Tal im Norden und dem Kalkalpen-Südrand (Tirol). — Dipl. Arb., 109 S., Inst. f. Geologie, Techn. Hochsch. München 1968.
- GÜMBEL, C. W.: Die geognostischen Verhältnisse der bayerischen Alpen und der Donau-Hochebene. — Bavaria I, Landes- und Volkskunde des Königreiches Bayern, 1, Ober- und Niederbayern, S. 19—20, München 1860.
- HAM, W. E. edit.: Classification of carbonate rocks. — Americ. Ass. Petrol. Geol., Memoir 1, 279 S., Tulsa 1962.
- HARSCH, W.: Lithofazielle, sedimentologische und paläogeographische Untersuchungen in den Raibler Schichten der Nördlichen Kalkalpen zwischen Fernpaß und Rhein sowie verschiedenen Vorkommen in Graubünden. — Diss. Techn. Hochsch. München, 150 S., München 1968.
- HIRSCH, F.: Etudes stratigraphiques du Trias moyen de la région de l'Arlberg (Alpes du Lechtal, Autriche). — Diss., 88 S., Univ. Zürich 1966.
- HUCKRIEDE, R.: Trias, Jura und Tiefe Kreide bei Kaisers in den Lechtaler Alpen (Tirol). — Verh. Geol. B.-A., S. 44—91, Wien 1959.
- ILLING, L. V.: Bahaman calcareous sands. — Bull. Americ. Ass. Petrol. Geol., 38, 1, S. 1—95, Tulsa 1954.
- ILLING, L. V. & WELLS, A. J.: Present day precipitation of calcium carbonate in the Persian Gulf. — In: L. M. J. V. van STRAATEN (Editor): Deltaic and shallow marine deposits. Elsevier, S. 429—435, Amsterdam 1964 a.
- : Penecontemporary dolomite in the Persian Gulf. — Bull. Americ. Ass. Petrol. Geol., 48, S. 532 (abstract), Tulsa 1964 b.
- IMBRIE, J. & PURDY, E. G.: Classification of modern Bahamian carbonate sediments. — In: Classification of carbonate rocks. Edit.: W. E. HAM. — Americ. Ass. Petrol. Geol., Memoir 1, S. 253—272, Tulsa 1962.

- JERZ, H.: Untersuchungen über Stoffbestand, Bildungsbedingungen und Paläogeographie der Raibler Schichten zwischen Lech und Inn (Nördliche Kalkalpen). — Diss. Techn. Hochsch., 127 S., München 1964.
- : Untersuchungen über Stoffbestand, Bildungsbedingungen und Paläogeographie der Raibler Schichten zwischen Lech und Inn (Nördliche Kalkalpen). — *Geologica Bavarica*, 56, S. 3—102, München 1966.
- KLEBELSBERG, R. v.: *Geologie von Tirol*. — Borntraeger Verlag, Berlin 1935.
- KRAUS, O.: Die Raibler Schichten des Drauzuges (Südliche Kalkalpen). Lithofazielle, sedimentologische und paläogeographische Untersuchungen. — Diss. Techn. Hochsch., 182 S., München 1968.
- KRAUS, O. & SCHMIDT-THOMÉ, P.: Faziesverteilung in der alpinen Trias des Heiterwand-Gebietes (östliche Lechtaler Alpen, Tirol). — *N. Jb. Geol. Paläont., Mh.*, S. 117—127, Stuttgart 1967.
- KRUMBEIN, W. C. & SLOSS, L. L.: *Stratigraphy and sedimentation*. — Freeman & Co., 660 S., San Francisco 1956 (1. ed.), 1963 (2. ed.).
- LEIGHTON, M. W. & PENDEXTER, Ch.: Carbonate rock types. — In: *Classification of carbonate Rocks*. Edit.: W. E. HAM. — *Americ. Ass. Petrol. Geol., Memoir* 1, S. 33—61, Tulsa 1962.
- LOGAN, B. W., REZAK, R. & GINSBURG, R. N.: Classification and environmental significance of Algal Stromatolites. — *J. Geol.*, 72, 1, S. 68—85, Chicago 1964.
- MASLOV, V. P.: Die fossilen Kalkalgen der UdSSR. — *Trudy geol. Inst., Akad. Nank SSSR*, 160, 301 S., Moskau 1956.
- MEISCHNER, K.-D.: Allodapische Kalke, Turbidite in riffnahen Sedimentationsbecken. — *Developments in Sedim.*, 3, „Turbidites“, S. 156—191, Amsterdam 1964.
- MILLER, H.: Zur Geologie des westlichen Wetterstein- und Mieminger Gebirges (Tirol). — Diss. Univ. 118 S., München 1962.
- MISIK, M.: Entwurf einer einheitlichen Klassifikation und Terminologie von gemischten karbonatischen Gesteinen. — *Geol. Práce*, Zpravy, 16, S. 61—78, Prag 1959.
- OTT, E.: Segmentierte Kalkschwämme (Sphinctozoa) aus der alpinen Mitteltrias und ihre Bedeutung als Riffbildner im Wettersteinkalk. — *Bayer. Akad. Wiss., Math.-Naturw. Kl.*, 131, 96 S., München 1967.
- PETTIJOHN, F. J.: *Sedimentary Rocks*. — 2. ed. Harper & Broth., 718 S., New York 1949 (1. ed.), 1957 (2. ed.).
- PLUMLEY, W. J., RISLEY, G. A. et al.: Energy index for limestone interpretation and classification. In: *Classification of carbonate rocks*. Edit.: W. E. HAM. — *Americ. Ass. Petrol. Geol., Memoir* 1, S. 85—107, Tulsa 1962.
- PURDY, E. G.: Recent calcium carbonate facies of the Great Bahama Bank. 1. Petrography and Reaction groups. 2. Sedimentary Facies. — *J. Geol.*, 71, 3, S. 334—355; 4, S. 472—497, Chicago 1963.
- RIGBY, J. K.: Two new Upper Paleozoic Hydrozoans. — *J. Paleont.*, 32, S. 583—586, Menasha 1958.
- SANDER, B.: Beiträge zur Kenntnis der Anlagerungsgefüge (Rhythmische Kalke und Dolomite aus Tirol). I. Nordalpine Beispiele. II. Südalpine Beispiele, Hauptdolomit, Allgemeines. — *Min. Petr. Mitt.* 48, 1/2, S. 27—139; 3/4, S. 141—209, Leipzig 1936.
- SARNTHEIN, M.: Sedimentologische Profilvereihen aus den mitteltriadischen Karbonatgesteinen der Kalkalpen nördlich und südlich von Innsbruck. — *Verh. Geol. B.-A.*, S. 119—162, Wien 1965.
- : Sedimentologische Profilvereihen aus den mitteltriadischen Karbonatgesteinen der Kalkalpen nördlich und südlich von Innsbruck. — *Ber. Nat.-Med. Vers. Innsbruck*, 54, S. 33—59, Innsbruck 1966.
- : Versuch einer Rekonstruktion der mitteltriadischen Paläogeographie um Innsbruck, Österreich. — *Geol. Rdsch.*, 54, S. 116—127, Stuttgart 1967.
- SCHULER, G.: Lithofazielle, sedimentologische und paläogeographische Untersuchungen in den Raibler Schichten zwischen Inn und Salzach (Nördliche Kalkalpen). — *Erlanger geol. Abh.*, 71, 60 S., Erlangen 1968.

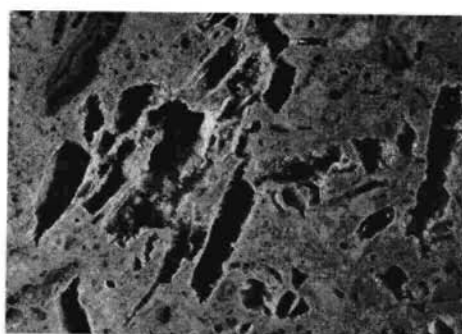
- SCHMIDT-THOMÉ, P.: Paläogeographische und tektonische Strukturen im Alpenrandbereich Südbayerns. — *Z. deutsch. geol. Ges.*, 113, S. 231—260, Hannover 1962.
- SHINN, R. S. & GINSBURG, R. N.: Formation of recent dolomite in Florida and the Bahamas (Abstract). — *Bull. Am. Petrol. Geol.*, 48, S. 547, Tulsa 1964.
- SHVETSOV, M. S.: Petrography and Sedimentary Rocks. — 416 S., Moskau 1958.
- TEBBUTT, G. E., CONLEY, C. D. & BOYD, D. W.: Lithogenesis of a distinctive carbonate rock fabric. — *Contr. to Geol.*, 4, 1, S. 1—13, Laramie/Wyoming 1965.
- THEODOROVICH, G. J.: Study of sedimentary Rocks. — 572 S., Leningrad 1958.
- TOLLMANN, A.: Der Deckenbau der Ostalpen auf Grund der Neuuntersuchungen des zentralalpinen Mesozoikums. — *Mitt. Ges. Geol. Bergb. Stud. Wien*, 10, S. 3—62, Wien 1959.
- : Faziesanalyse der alpidischen Serien der Ostalpen. — *Z. deutsch. geol. Ges.*, 116, S. 359—389, Hannover 1965.
- TURNIT, P.: Morphologie und Entstehung diagenetischer Drucklösungserscheinungen. — *Geol. Mitt.*, 7, S. 173—204, Aachen 1967.
- : Druck-Lösungsstadien innerhalb der Entwicklung einer Geosynklinale. — *N. Jb. Geol. Paläont., Mh.*, 6, S. 376—384, Stuttgart 1968 a.
- : Die Schnittführung bei der Beurteilung von Drucklösungsphänomenen. — *Schweiz. Mineral. petrogr. Mitt.*, 48, S. 373—396, Zürich 1968 b.
- ULRICH, R.: Entwicklung der ostalpinen Juraformation im Vor-Karwendel und Achensee. — *Geologica Bavarica*, 41, S. 99—155, München 1960.
- WEBER, P.: Bildung und Regelung von Kalkknollengefügen. — *Untersuchungen im Oberdevon des Rheinischen Schiefergebirges.* — *Decheniana*, 118, (1), S. 55—84, Bonn 1965.
- WILSON, R. C. L.: Particle nomenclature in carbonate sediments. — *N. Jb. Geol. Paläont., Mh.*, 8, S. 498—510, Stuttgart 1967.

Erläuterungen zu Tafel 1

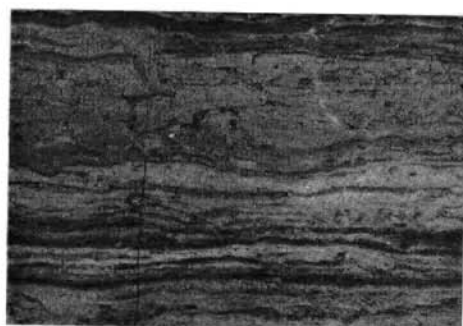
- Fig. 1: Profil G (Mieminger Gebirge), Reichenhaller Schichten, Handstück G 11 b, Anschliff, 1:1. Polymikte Breccie mit Komponenten aus Kalk-Mikriten und Kalk-Areniten (dunkel), dolomitischen Kalken und kalkigen Dolomiten (hell). — Im kalkigen Dolomitzwischenmittel finden sich reichlich Erzflöckchen.
- Fig. 2: Profil G (Mieminger Gebirge), Reichenhaller Schichten, Handstück G₁, Anschliff, 1:1. Das mikritische, kalkige Dolomitgestein (Rauhacke) zeigt Hohlräume, die durch Herauswittern der Komponenten einer ehemaligen Breccie entstanden sind.
- Fig. 3: Profil z (Karwendelgebirge), Übergang Reichenhaller Schichten — untere Gesteinsserie des Alpenen Muschelkalkes, Handstück z/9, Anschliff, 1:1. Stromatolith-Algenrasen (Typ LLH-S), die im Gezeitenbereich durch Sedimentfang und -bildung an einem organischen Algenfilm entstanden sind.
- Fig. 4: Profil G (Mieminger Gebirge), untere Gesteinsserie des Alpenen Muschelkalkes (Wurstelkalk), Handstück G 32, Anwitterungsfläche senkrecht zur Schichtung, 1,5:1. Mikrit mit Bioturbationsgefügen. Die Anschnitte der Grabgänge zeigen z. T. im liegenden Bereich angehäuften Kotpillen.
- Fig. 5: Profil S (Wettersteingebirge), untere Gesteinsserie des Alpenen Muschelkalkes, Handstück S 70, Dünnschliff, 5:1. Grabgänge im Quer- und Längsschnitt im Mikrit mit z. T. gut erkennbaren Kotpillen.
- Fig. 6: Lachabzug zu Fig. 4, 7:1. Quergeschnittener Grabgang mit im liegenden Teil angehäuften Kotpillen.
- Fig. 7: Profil n (Karwendelgebirge), mittlere Gesteinsserie des Alpenen Muschelkalkes, Handstück n 16, Dünnschliff, 10:1. Spatitischer Mikrit-Arenit mit dünnumkrusteten Komponenten, Rundkörperchen (pellets) und etwas Biogendritus, die ein geschlossenes Gerüst erzeugen.
- Fig. 8: Profil m (Wannig, Mieminger Gebirge), mittlere Gesteinsserie des Alpenen Muschelkalkes, Handstück m 15, Dünnschliff, 5:1. Unsortierter spatitischer Rudit-Arenit mit Onkoiden, Algendetritus (*Physoporella praealpina* PIA) und pellets, ein geschlossenes Gerüst bildend.



1



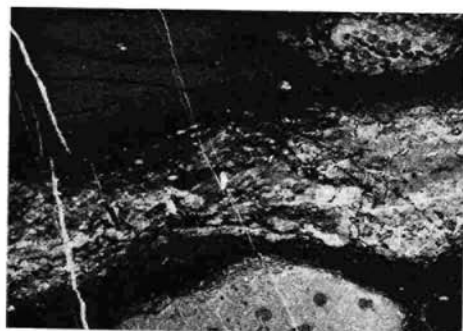
2



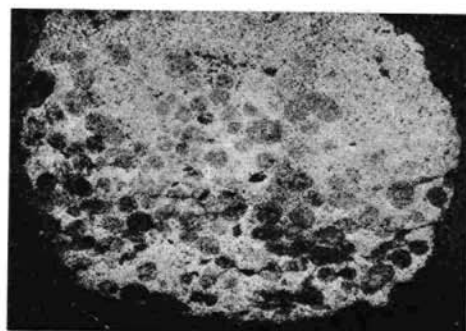
3



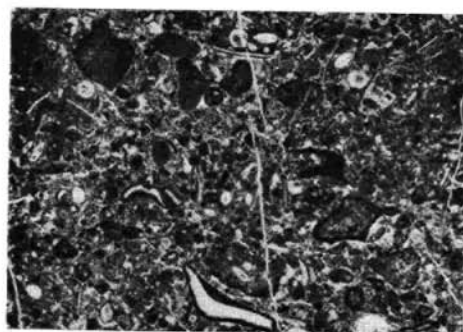
4



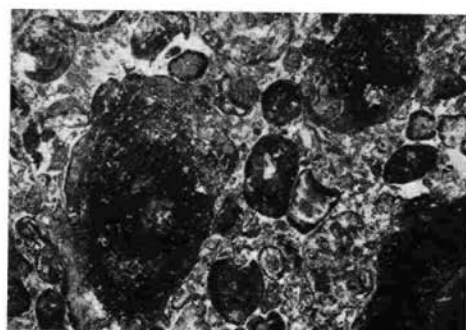
5



6



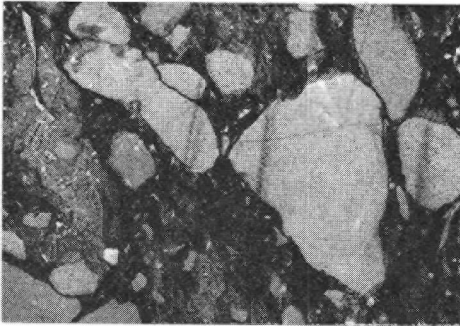
7



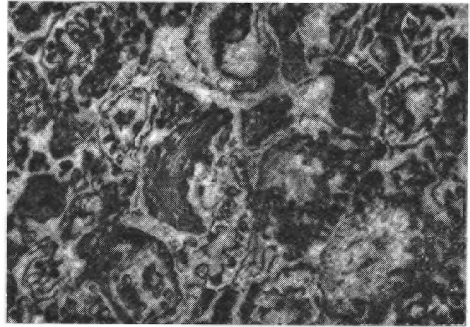
8

Erläuterungen zu Tafel 2

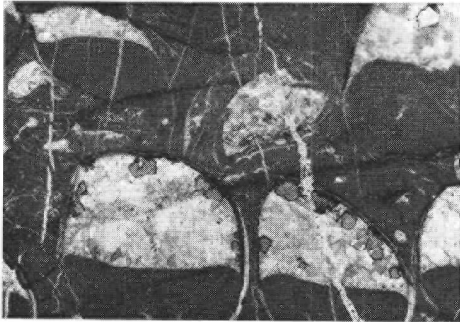
- Fig. 1: Profil H (Mieminger Gebirge), untere Gesteinsserie des Alpenen Muschelkalkes, Handstück H 58, Lachabzug, 2:1.
Arenitischer Mikrit-Rudit mit Resedimenten, die bereits vor der Sedimentation etwas verfestigt waren. Neben diagenetischer Zerflaserung zeigen sich im Berührungsbereich der Komponenten Drucklösungserscheinungen.
- Fig. 2: Profil L (Mieminger Gebirge), mittlere Gesteinsserie des Alpenen Muschelkalkes, Handstück L 13, Dünnschliff, 5:1.
Arenitischer bis ruditischer Biogendetrituskalk (ruditischer Spatit-Arenit) mit Algenresten (*Physoporella praealpina* PIA und *Teutloporella peniculiformis* OTT) und pellets, die sich zu einem geschlossenen Gerüst zusammenlagern. In bewegtem, nicht über 50 m tiefem Wasser entstanden.
- Fig. 3: Profil B (Ammergauer Alpen), mittlere Gesteinsserie des Alpenen Muschelkalkes, Handstück B 27, Lachabzug, 1,5:1.
Brachiopodenschalen (*Coenothyris vulgaris* SCHLOTHEIM), die eine geopetale Spatit-Haube enthalten („Geologische Wasserwaagen“).
- Fig. 4: Profil r (Inntal bei Mötzt), mittlere Gesteinsserie des Alpenen Muschelkalkes, Handstück r 32, Dünnschliff, 5:1.
Arenitischer Biogendetrituskalk (ruditischer Mikrit-Arenit) mit unregelmäßigen Filamenten, die bei geringer Wasserbewegung abgelagert wurden.
- Fig. 5: Profil r (Inntal bei Mötzt), obere Gesteinsserie des Alpenen Muschelkalkes (Knollenkalk), Handstück r 10, Dünnschliff, 3:1.
Spätdiagenetische Knollenbildung mit Drucklösungserscheinungen.
- Fig. 6: Profil a (Nördliches Wettersteingebirge), obere Gesteinsserie des Alpenen Muschelkalkes, Handstück a 10, Anschliff, 0,5:1.
Kreuzgeschichteter und z. T. gradierter Tuffit mit wechselndem Kalkgehalt.
- Fig. 7: Profil S (Wettersteingebirge), basaler Wettersteinkalk, Handstück S 2, Dünnschliff, 30:1.
Spatit-Arenit mit *Tubiphytes obscurus* MASLOV, Kalkbruchstücken und pellets ein geschlossenes Gerüst bildend.
- Fig. 8: Profil m (Wannig, Mieminger Gebirge), Basis des Wettersteinkalkes, Handstück m 2, Anschliff, 1:1.
Unsortierter, arenitischer Spatit-Rudit mit eckigen Kalkbruchstücken (Riffgesteinsbruchstücke), die ein geschlossenes Gerüst bilden. Die Zwischenräume sind von Spatit ausgefüllt.



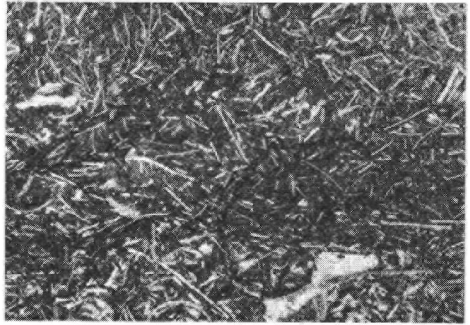
1



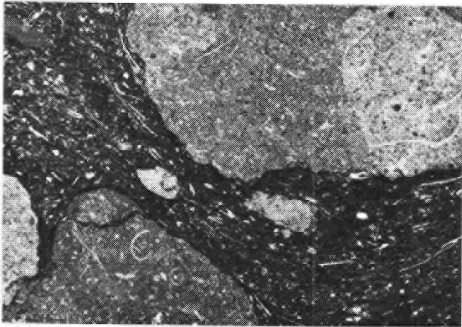
2



3



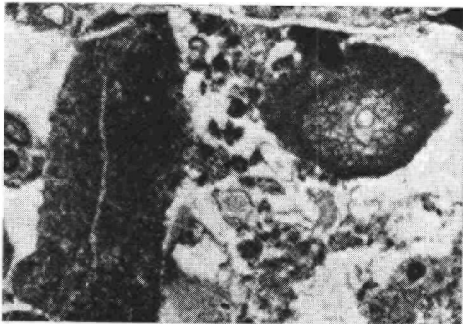
4



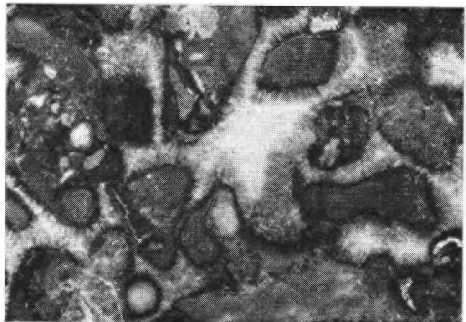
5



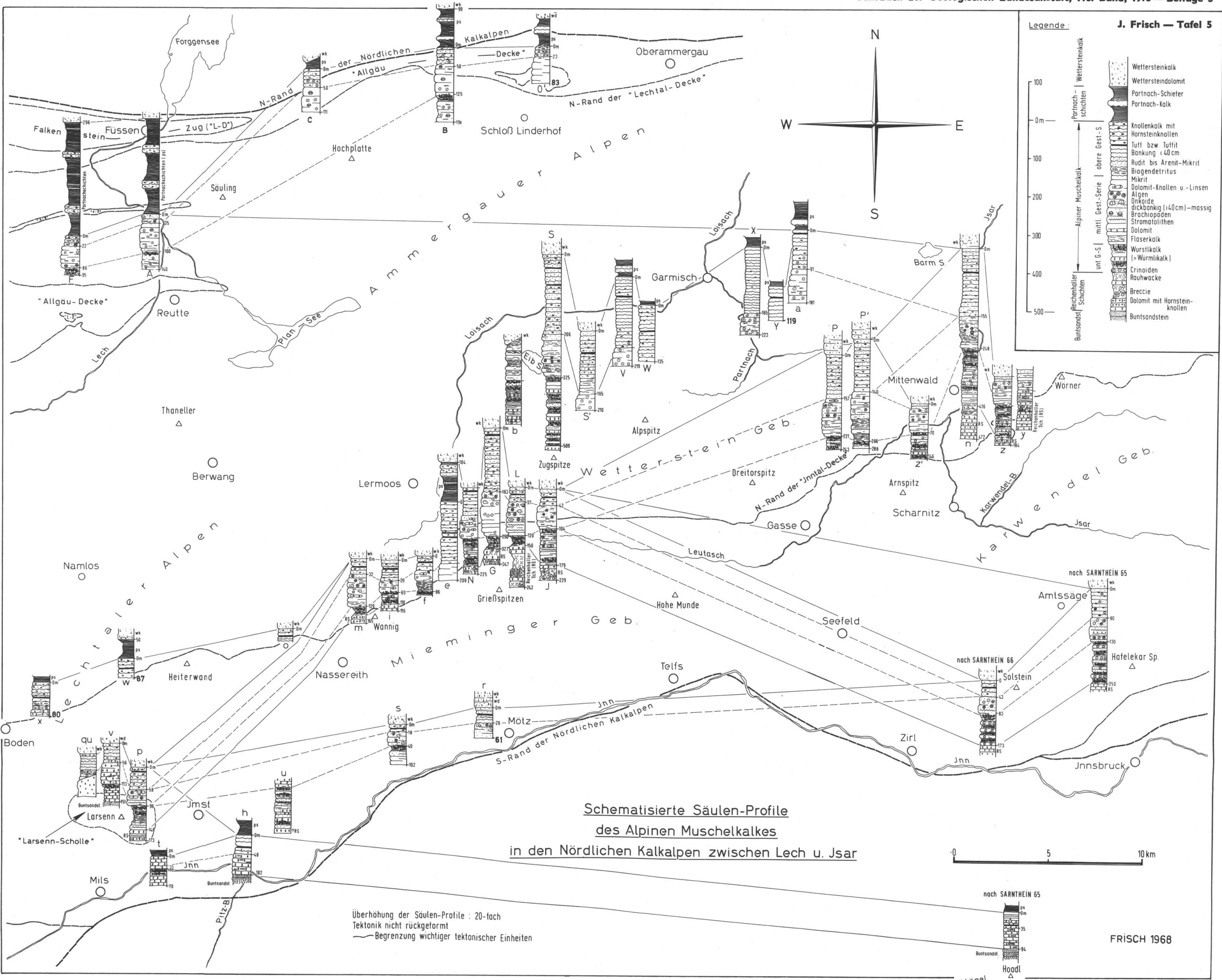
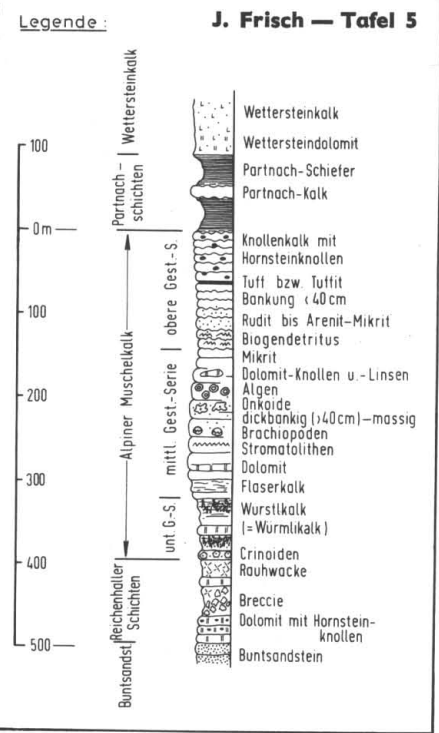
6



7



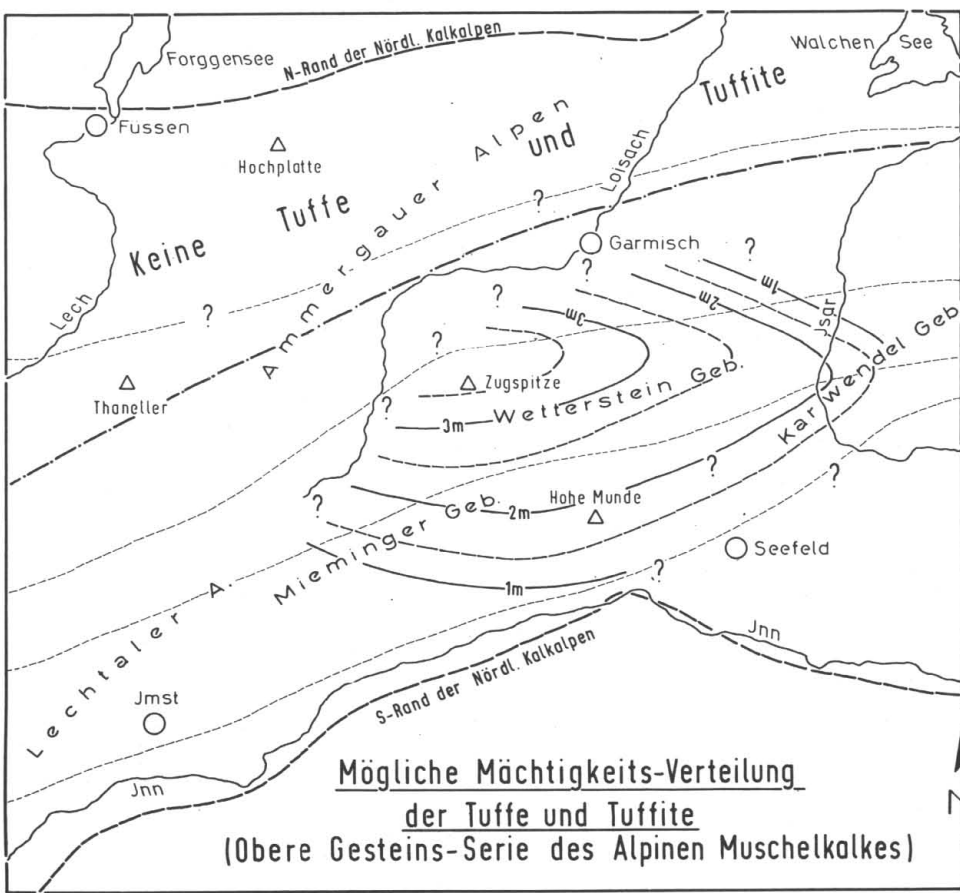
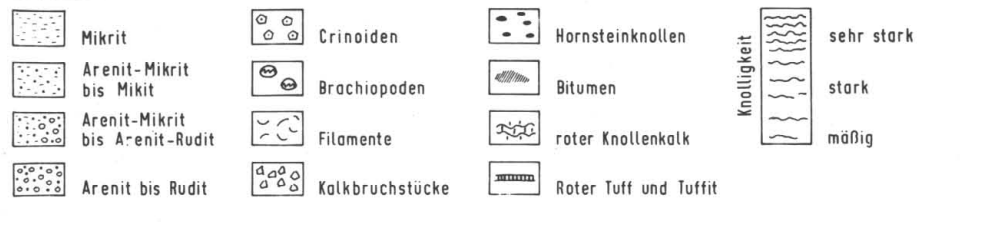
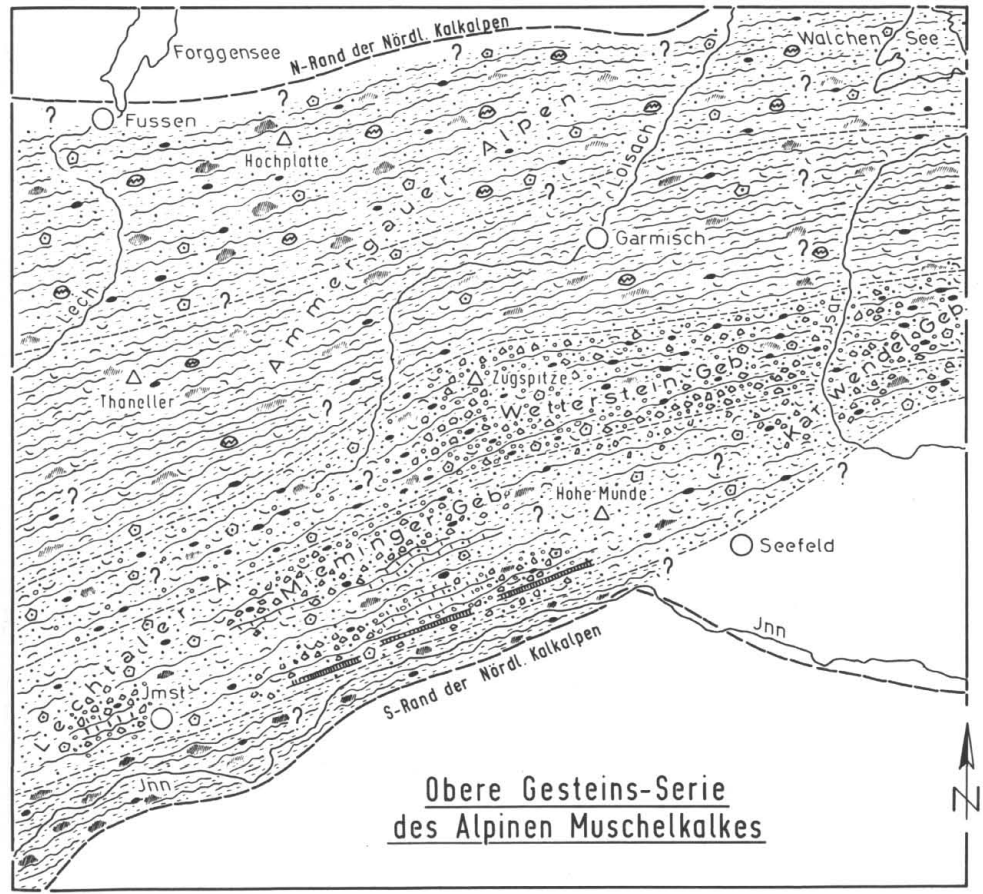
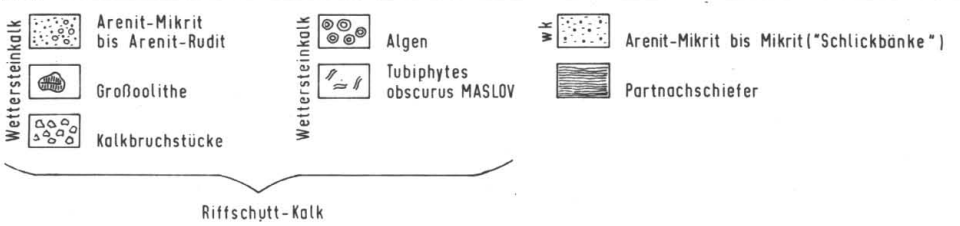
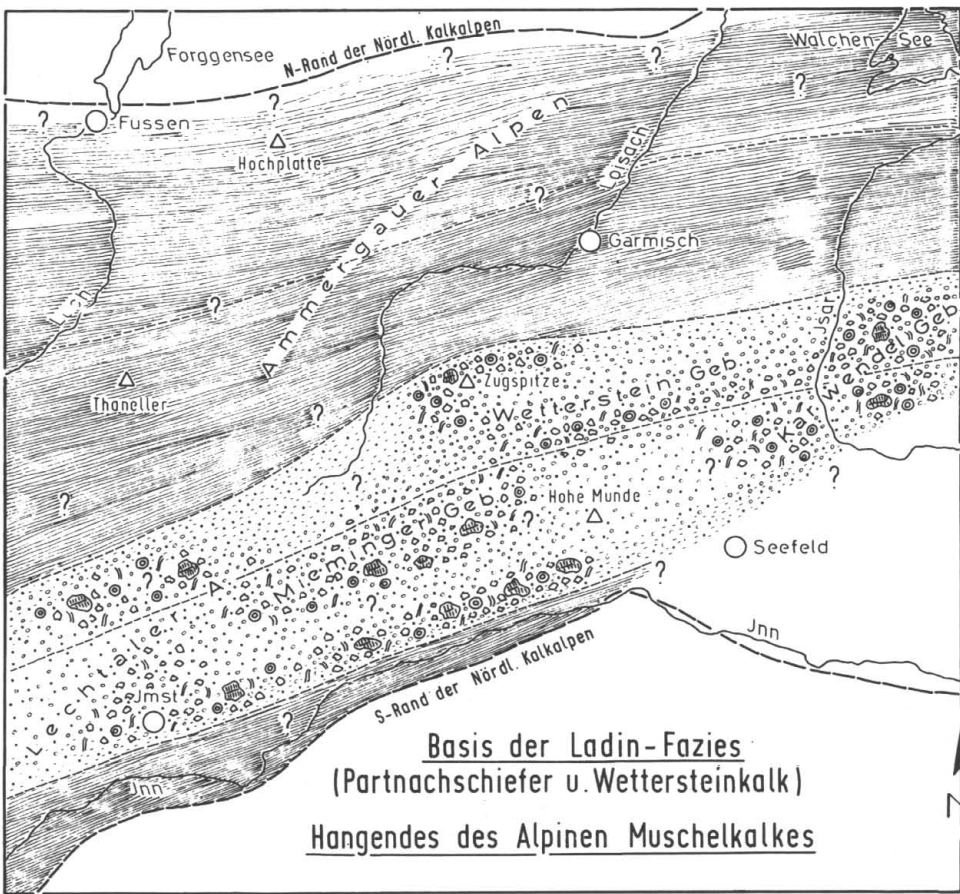
8



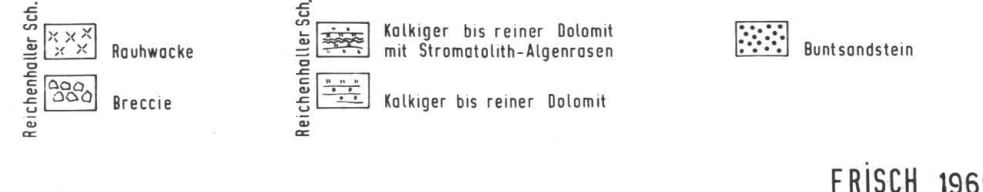
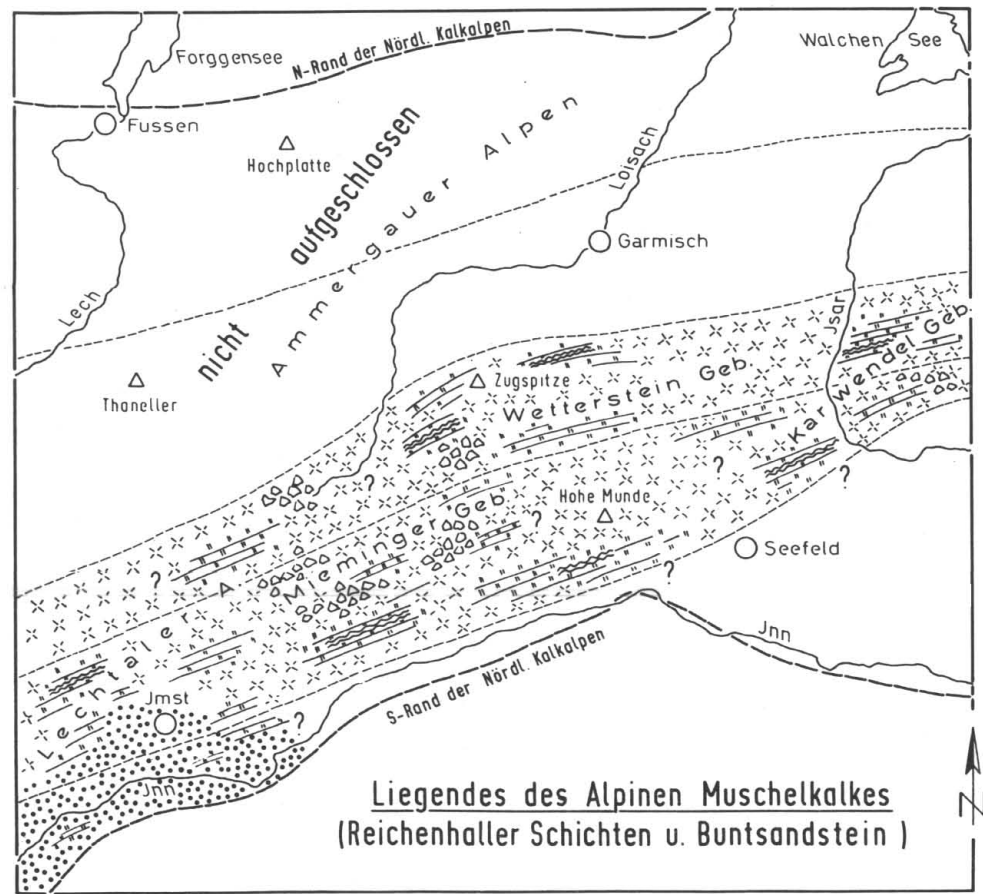
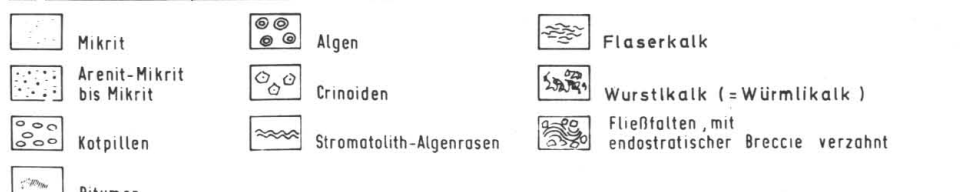
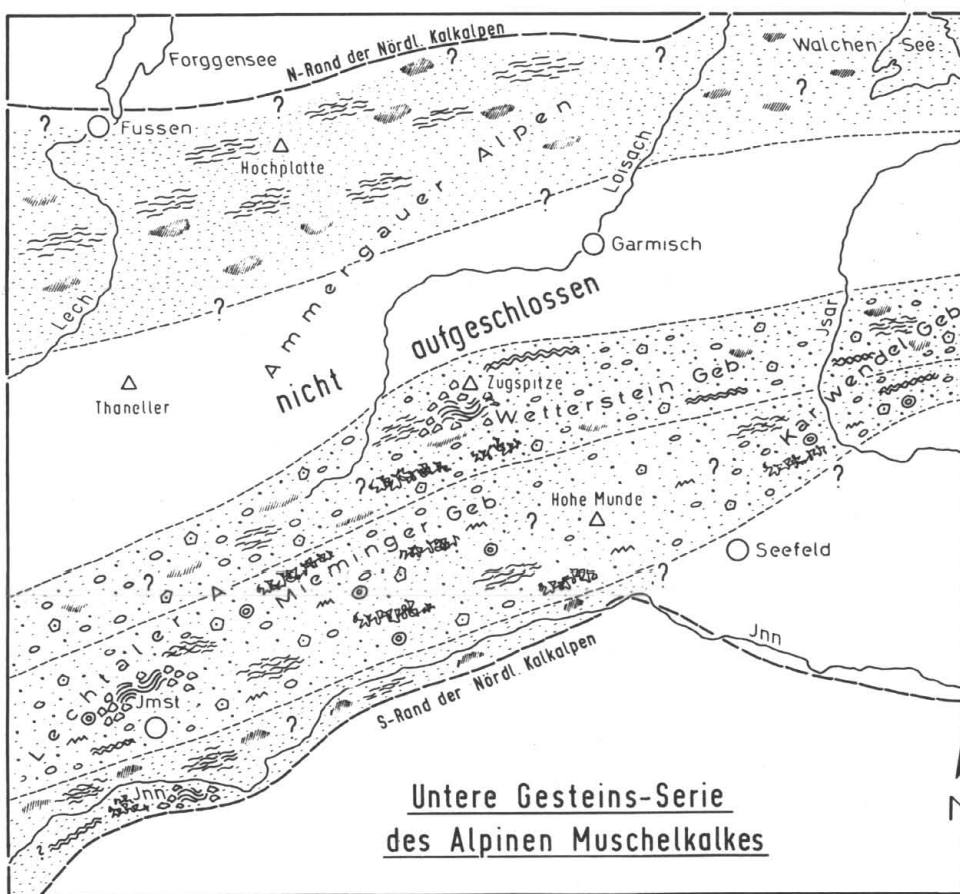
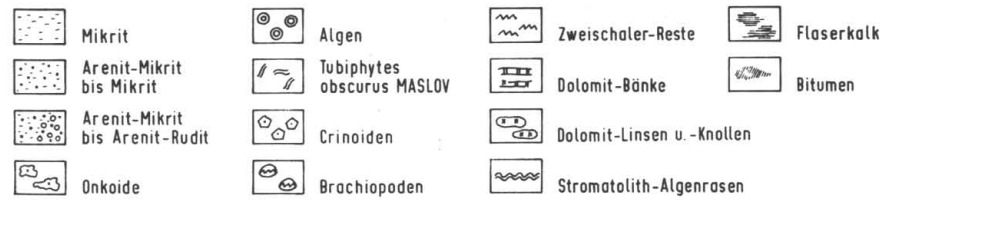
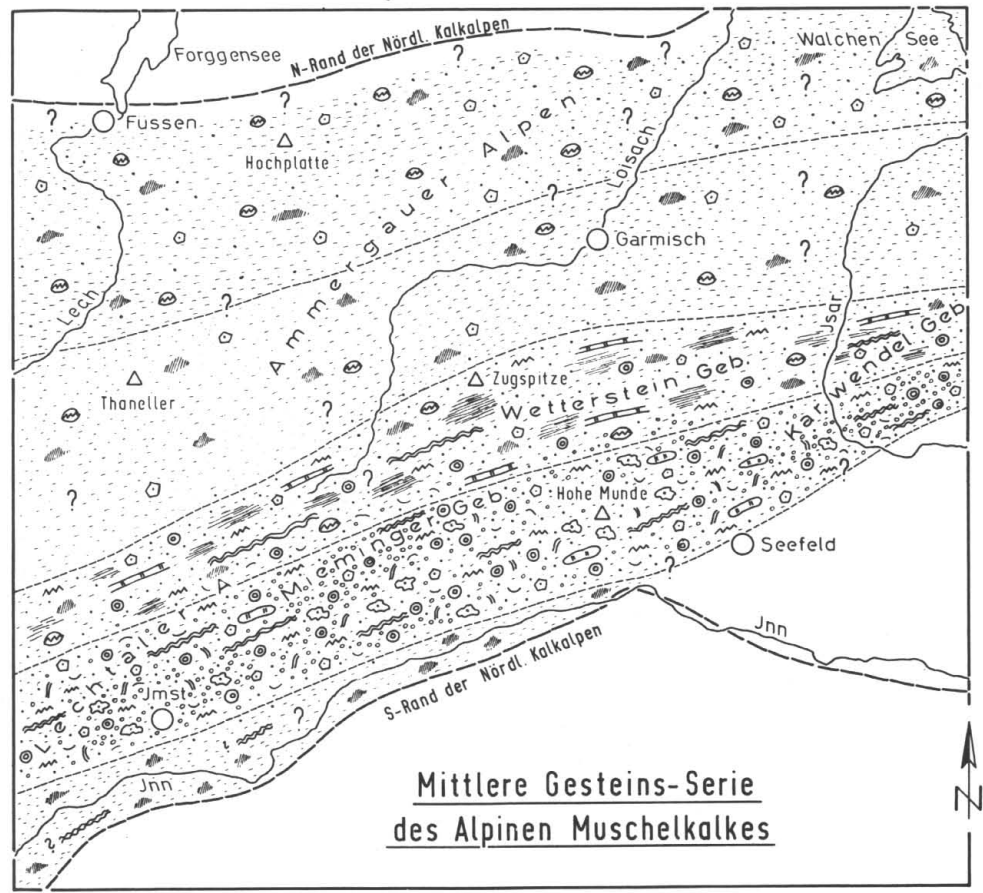
Vereinfachte und schematisierte Skizzen zur Faziesentwicklung und Paläogeographie des Alpinen Muschelkalkes in den Nördlichen Kalkalpen zwischen Lech und Jsar

0 10 20km

--- Begrenzung von Litho-Fazies-Bereichen (siehe Abb. 5)

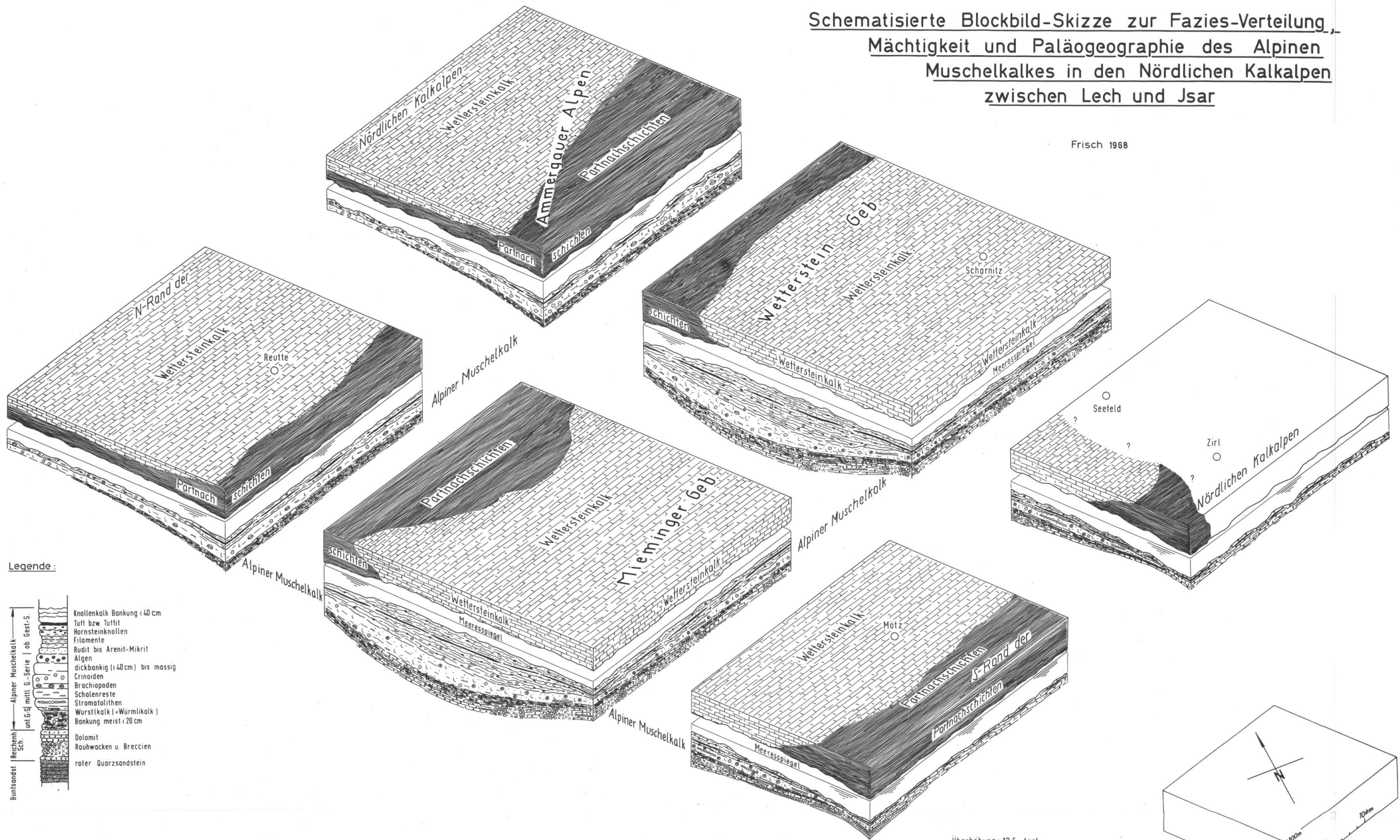


--- Wahrscheinlicher Nord-Rand der Tuff- und Tuffit-Verbreitung

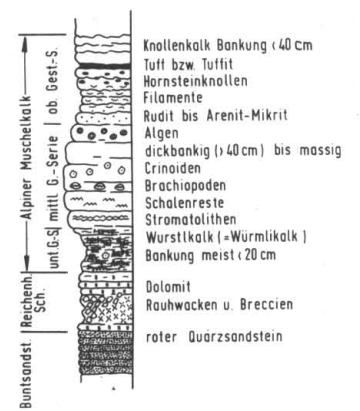


Schematisierte Blockbild-Skizze zur Fazies-Verteilung, Mächtigkeit und Paläogeographie des Alpinen Muschelkalkes in den Nördlichen Kalkalpen zwischen Lech und Jsar

Frisch 1968



Legende:



Überhöhung: 12,5-fach
Tektonik rückgeformt

