

Wissenschaftliche Veröffentlichungen des D. u. Oe.
Alpenvereins
7.

Die Mittenwalder Karwendelmulde

Beiträge zur Lithogenese und Tektonik
der nördlichen Kalkalpen

Mit geologischer Karte 1 : 25000, 3 Profilen und 19 Abbildungen

Von

Ferdinand Trusheim

Frankfurt am Main

INNSBRUCK 1930

VERLAG DES DEUTSCHEN UND OESTERREICHISCHEN ALPENVEREINS

IN KOMMISSION BEI DER J. LINDAUER'SCHEN UNIV.-BUCHHANDLUNG IN MÜNCHEN

Hergestellt durch F. Bruckmann AG., München

Vorliegende Arbeit entstand auf Anregung meines verehrten Lehrers, Herrn Prof. Dr. LEUCHS. Für seine hilfreiche Unterstützung mit Rat und Tat sowie für die Bereitwilligkeit, mit der er mir die Benutzung seiner Bücherei gestattet hat, bin ich ihm zu großem Dank verpflichtet. Die in der wirtschaftlich schlechten Zeit recht kostspieligen Geländeaufnahmen waren nur mit der finanziellen Unterstützung möglich, die mir Herr Prof. Dr. DREVERMANN vermittelte. Bei den Herren Prof. Dr. RICHTER, Prof. Dr. KRÄUSEL, Oberbergrat Dr. AMPFERER, Dr. WEITZEL und Dr. SCHWARZ fand ich stets liebenswürdigste Hilfsbereitschaft. Allen Herren sei auch an dieser Stelle herzlichst gedankt.

Auch bei den Geländearbeiten durfte ich mich dankenswerter Unterstützung erfreuen. Die Sektion Hochland des D.Ö.A.V. hat mir durch ihren Vorsitzenden, Herrn Ministerialrat Dr. MEUKEL-München, die Erlaubnis erteilt, ihre Hütten (Hochlandhütte und Soiernhäuser) gebührenfrei zu benutzen. Das Forstamt Mittenwald gestattete mir während einiger Tage kostenlosen Aufenthalt in seiner Diensthütte bei der Brandl-Alm.

Dem Hauptausschuß des Deutschen und Österreichischen Alpenvereins möchte ich meinen besonderen Dank aussprechen. Durch sein weitgehendes Entgegenkommen war die Aufnahme der Arbeit, der Tafeln und der Karte in den Wissenschaftlichen Veröffentlichungen möglich.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Zweck der Arbeit	5
Begrenzung und Benennung des Gebietes	5
Zeit und Dauer der Kartierung	5
Die topographische Kartenunterlage	5
Frühere geologische Bearbeitungen	6
Topographie	6
Stratigraphie und Lithogenesis	7
Allgemeines	7
Anisische Stufe	8
Reichenhaller Schichten	8
Muschelkalk	9
Ladinische Stufe	9
Karnische Stufe	11
Norische Stufe	12
Hauptdolomit	12
Allgemeines	12
Bituminöse Mergel	13
Rote Tone	19
Fauna	19
Konglomerate	24
Diskordante Paralleltexur	27
Lithogenesis	27
Plattenkalk	28
Allgemeines	28
Fauna	28
Bituminöse Mergel	30
Konglomerate	30
Diskordante Paralleltexur	31
Sonstige Aufarbeitungsvorgänge	32
Zusammenfassung	34
Rhätische Stufe	34
Kössener Schichten	34
Jura	37
Lias	37
Oberer Jura	37
Allgemeines	37
Konglomerate	39
Hornsteinbreccie	42
Hornsteine	47
Kreide	49
Neokom	49
Quartär	51
Tektonik	55
Morphologie	60
Hydrographie	61
Schrifttum	63
Tafelerklärung	68

Zweck der Arbeit.

Der Hauptzweck vorliegender Arbeit war die Fortsetzung und der Ausbau sedimentpetrographischer Untersuchungen im alpinen Mesozoikum, wie sie LEUCHS seit Jahren in der Alpengeologie anbahnt.

Da der bayerische Anteil des Gebietes (seit einigen Jahren Naturschutzgebiet) seit dem Erscheinen von ROTHPLETZ's Karwendelkarte von 1888 im Maßstab 1:50 000 nicht mehr bearbeitet worden war, schien eine Neuaufnahme auf Grund der verbesserten topographischen Karte angebracht.

Begrenzung und Benennung des Gebietes.

Die Kartierung konnte sich auf den bayrischen Anteil der Meßtischblätter beschränken. Die Kolorierung des österreichischen Anteils war dank der großen Liebeshwürdigkeit von Herrn Oberbergat Dr. AMPFERER möglich, der mir die Originalblätter 1:25 000 seiner Kartierung von 1903 zur Verfügung stellte.

Für die Neukartierung bildete die Reichsgrenze den Abschluß im Süden und Osten, im Norden war die Begrenzung durch den Kartenrand, im Westen durch die Isar gegeben. Das aufgenommene Gebiet umfaßt also im wesentlichen den westlichsten Teil der großen Karwendelmulde. Diese Krcidcmulde trägt noch keinen einheitlichen Namen. Ich bezeichne deshalb ihren westlichsten Teil (von der Isar bis zur Reichsgrenze am Fermersbach) als „Mittenwalder Karwendelmulde“.

Zeit und Dauer der Kartierung.

Die Aufnahmearbeiten wurden in den Monaten August, September und Oktober 1927 und 1928 ausgeführt. Dabei gingen, besonders 1927, wertvolle Tage durch ungünstige Witterung verloren, außerdem zwang die Jagd zu unvorhergesehenen Einschränkungen. Nichtsdestoweniger konnte durch verschiedene Übersichtstouren der Anschluß besonders nach Osten und Süden gewonnen werden.

Die topographische Kartenunterlage

bildeten die Meßtischblätter Mittenwald 880 und Karwendelspitz 881 der topographischen Karte von Bayern 1:25 000. Die alte Karwendelspezialkarte des D.Ö.A.V. 1:50 000 ist zwar in der zweiten Ausgabe (1907 mit Nachträgen bis 1914) vom größten Teil ihrer Fehler (im Soierngebiet hat MÄRZ 1904 S. 215 eine Reihe von Abweichungen in den Höhenzahlen angegeben, die mittlerweile berichtigt sind) bereinigt worden, erwies sich aber wegen ihres kleinen Maßstabes nur als Übersichtskarte für Begehungen in den anschließenden Gebieten geeignet. Die vorzügliche stereogrammetrische Neuaufnahme 1:25 000 durch den D.Ö.A.V. (Herr Ingenieur L. ÄGERTER hatte die große Liebeshwürdigkeit, mir eines der noch unvollständigen Blätter zu überlassen) würde das Ideal einer Kartenunterlage für geologische Aufnahmen darstellen. Leider aber war sie auch nach Abschluß der Feldarbeiten noch nicht fertiggestellt, außerdem liegt mehr als die Hälfte des Gebietes außerhalb des Rahmens der geplanten neuen Karte, so daß sie als Unterlage nicht verwendet werden konnte.

Frühere geologische Bearbeitungen.

Mit GUMBEL setzt die systematische flächenhafte Bearbeitung des Gebietes ein. In seiner „Geognostischen Karte des Königreichs Bayern“ von 1858 findet sich die erste geologische Kartendarstellung des Gebietes (Maßstab 1:100 000). Aber erst die ROTHPLETZsche (Z. D.Ö.A.V. 1888) Bearbeitung und Karte (1:50 000) gibt ein im allgemeinen zutreffendes Bild der geologischen Verhältnisse. Die 1898—1912 von AMPFERER bearbeiteten Blätter Zirl und Nassereith, Innsbruck und Achensee der geologischen Spezialkarte von Österreich 1:75 000 gehen bis zur Reichsgrenze, und nur in der Beschreibung des nördlichen Karwendelgebirges (1903) finden gelegentlich Vorkommnisse auf bayerischem Boden Erwähnung. Die Karte des Wettersteingebirges von REIS und PFAFF (Geogn. Jahresh. 23, 1910) umfaßt gerade noch den Anteil des Meßtischblattes Mittenwald unseres Gebietes; auf ihr finden die quartären Ablagerungen an der Isar eine erste Darstellung. Rein geologische Arbeiten wurden seit der Zeit nicht mehr ausgeführt, eine um so eingehendere Bearbeitung erfuhr die Glazialgeologie durch die ausgezeichneten Arbeiten von PENCK, v. KLEBELSBERG und v. WOLF. Die interglazialen Ablagerungen sind erst kürzlich von WEHRLI (1928) zusammengefaßt worden.

Spezialarbeiten aus dem Gebiet lieferten MÄRZ (Veröff. Ver. Erdk. Leipzig 6, 1904) über den „Seenkessel der Soiern, ein Karwendelkar“ und FELS (München 1921) über „Die Kare der vorderen Karwendelkette“. Populäre Darstellungen der Geologie unseres Gebietes (teils auf ROTHPLETZ, teils auf AMPFERER fußend) finden sich in dem von der Sektion Hochland des D.Ö.A.V. herausgegebenen Führer „Die nördliche Karwendelkette“ (München, Lindauer-sche Univ.-Buchhandl. 1913) und in dem Jahresbericht 1927 dieser Sektion.

Topographie.

Das Landschaftsbild wird beherrscht von dem wildzerklüfteten, kahlen Kamm der vorderen Karwendelkette, auf deren Grat die Reichsgrenze und zugleich die Südgrenze des kartierten Gebietes verläuft. Beim massigen Mittenwalder Stock herrscht noch kein ausgesprochener Kettencharakter: strahlenförmig gehen nach allen Himmelsrichtungen Gebirgsäste, die gewöhnlich von einem Gipfel gekrönt sind: der Ast des Gerberkreuzes im Süden, der Ast der Viererspitze über die Karwendelköpfe nach Norden und seine Fortsetzung, die Kreuzwandspitze nach Osten, schließlich der eigentümliche Damm nach Nordosten. Nur der östlichste (Kirchle-)Ast setzt sich mit scharfem Grat über die Lerchfleck-, Tiefkar- und Großkarspitzen in nordöstlicher Richtung zum Wörner fort. Von da ab nimmt der Kamm eine reine West-Ost-Richtung an und wird nur noch einmal durch die tiefe Senke des Bärnalpels unterbrochen. Seine Gipfel, die Hochkar- und Raffelspitze westlich, und die Bärnalpel-, Schlicht-, Vogelkar- und östliche Karwendelspitze östlich des Bärnalpels überragen den Kamm nur wenig. Die Gipfelhöhen dieser vorderen Karwendelkette liegen zwischen 2200 und 2500 m Höhe. Bezeichnend sind die ungemein steilen Nordabstürze, an deren Fuß sich verschiedene perennierende Schneeflecken erhalten können. In engem Zusammenhang mit der Kette steht der mächtige Schuttgürtel, der sich nördlich an die Wände anlegt. Mit ihnen hat die vordere Karwendelkette und zugleich das Karwendelhochgebirge seinen Abschluß erreicht.

Es schließt sich nach Norden das Karwendelvorgebirge an. Auch hier herrscht mehr oder weniger ausgesprochene West-Ost-Anordnung, die am

augenscheinlichsten am Becken der Vereinsalpe mit dem Seinsbach nach Westen und dem Sand- bzw. Fermersbach nach Osten auffällt. In der Zwischenzone liegen die bewaldeten Hügel des Rehbergwaldes und Schwarzkopfes sowie der Grat Zunderweidkopf—Wörnerkopf im Westen, die grotesken Kammleitenswände in der Mitte und die bewaldeten ruhigen Hügel des „Schlags“ und Wechselbodens im Osten.

Als umfangreichster Teil des Gebietes schließt sich nördlich die Soierngruppe an, in der die Ost-West-Anordnung im großen etwas verwischt erscheint. Lediglich im Nordosten zeigt der Kamm von der Krapfenkarspitz über die Dreierkar- und Baierkarspitz zum Fermerskopf typischen Gratcharakter, der sich schon durch die fiederförmige Anordnung der Kare zu beiden Seiten zu erkennen gibt. Den landschaftlich reizvollsten Teil stellt das Amphitheater des Soiernkessels dar mit den beiden Soiernseen an seinem Grunde, ein Gebiet, dessen Topographie durch MÄRZ 1904 eine eingehende Darstellung gefunden hat. Die Gipfelhöhen erreichen mit 2000 bis 2250 m bei weitem nicht mehr die Höhen der Karwendelkette. Die Umrahmung des Kessels bilden Schöttelkarspitz, Feldernkreuz, Feldernkopf, Reißende Lahnspitz und die eindrucksvolle Pyramide der Soiernspitz. Alle brechen gegen den Kessel zu mit steilen Wänden ab (Abb. 4) und bilden nach außen hin sanfte Hänge. Die sanften Außenhänge und die Steilabbrüche gegen den Kessel zu verursachen die eigentümliche kraterähnliche Anordnung.

Hier im Soierngebiet war die Übernahme einiger neuen, auf der Spezialkarte nicht angegebenen Flurbezeichnungen erforderlich, die der Übersichtlichkeit wegen zusammengestellt sein mögen:

Wasserkar = Kar genau östlich der Soiernspitz, südlich Steinkarl,
 obere Ramsböden = südlicher Teil des westlichen Soiernkessels,
 untere Ramsböden = nördlicher Teil des westlichen Soiernkessels,
 Gamsschartel = tiefste Einsattelung zwischen Schöttelkarspitz und Schöttelkopf,
 Gamsschartelköpfe = Grat vom Gamsschartel zum Königshaus,

Gumpenkarspitz = Gipfel 250 m nördlich Jägersruh, 300 m westlich Krapfenkarspitz,
 Soiernriegel (Vorschlag von MÄRZ 1904) = die Schwelle, die den Soiernkessel gegen das Fischbachtal abschließt und die Seen abdämmt,

Soierndamm (eigener Vorschlag) = der Kamm, der die beiden Soiernkessel voneinander trennt.

Die reiche Flora und die interessanten Vegetationsverhältnisse des bayerischen Karwendelteils haben durch VOLLMANN (Mitt. bayer. Bot. Ges. 1911, 2, Seite 357) eine zusammenfassende Darstellung erfahren. Sie ist im wesentlichen die Grundlage kürzerer populärer Abrisse, von denen die knappe Zusammenstellung im Führer der Sektion Hochland des D.Ö.A.V. (Die nördliche Karwendelkette, München 1913, Lindauer'sche Buchhandlung) hervorgehoben zu werden verdient. Gerade diese in vieler Beziehung eigenartige Flora ist der Hauptgrund gewesen, warum große Teile des Karwendels, darunter auch der von mir bearbeitete Bezirk, zum Naturschutzgebiet erklärt wurden.

Stratigraphie und Lithogenesis.

Allgemeines.

Die hier gewählte Darstellung weicht bei der Schichtbeschreibung von dem üblichen Schema ab. Man ist gewohnt, bei den meisten alpinen Kartenerläuterungen unter dem Kapitel „Stratigraphie“ Schichtbeschreibungen zu finden, die seit PICHLER^s, v. MOJSISOVICS^s und v. GÜMBEL^s Zeiten sich mit ermüdender Gleichförmigkeit wiederholen. Immer noch ist der Hauptdolomit „ein für

den Geologen unerfreuliches Gestein, das infolge seiner brecciösen Beschaffenheit in polyedrische Bruchstücke zerfällt“. Es sei deshalb auf eine derartige seitenfüllende Beschreibung verzichtet, zumal Zusammenfassungen des Wesentlichen öfter und zuletzt von LEUCHS gegeben sind. Spezielle Darstellungen der Schichtenfolge des Karwendels finden sich bei ROTHPLETZ und AMPFERER. Aus diesem Grunde wurden nur die Abweichungen von der üblichen Gesteinsausbildung sowie neue, im Gebiet gewonnene Erkenntnisse berücksichtigt. Es lag in der Natur der Sache, daß die unteren Stufen der Trias wegen ihrer geringen Mächtigkeit und ungemëin starken tektonischen Beanspruchung im Gebiet ein sehr undankbares Objekt für die Bearbeitung abgaben. Deswegen wurde keine Zeit an einen Gegenstand verloren, der an hundert anderen Stellen in vollständiger und wenig gestörter Ausbildung zu untersuchen ist. Eine genaue Bearbeitung der Fauna lag nicht im Bereich der gestellten Aufgabe, deren Hauptgewicht auf die sedimentpetrographische Untersuchung gelegt war. Immerhin wurden an den schon seit ROTHPLETZ bekannten und gründlich ausgebeuteten Fundpunkten sowie an einer Reihe neuer entdeckter ergiebiger Vorkommen Aufsammlungen gemacht, mit deren Zusammenstellung lediglich eine Vervollständigung der Fossilisten und Fundpunkte beabsichtigt war.

An dem Aufbau des Gebietes sind folgende Schichtglieder beteiligt:

Quartär	{	Alluvium Diluvium
Kreide	{	Neokom
Jura	{	Oberer Jura Lias
{		
	{	Rhätische Stufe { Kössener Schichten Plattenkalk
	{	Norische Stufe { Hauptdolomit
Trias	{	Karnische Stufe { Raibler Schichten
	{	Ladinische Stufe { Wettersteinkalk
	{	Anisische Stufe { Muschelkalk Reichenhaller Schichten

Anisische Stufe.

Reichenhaller Schichten.

Innerhalb der vorderen Karwendelkette treten an mehreren Stellen geringmächtige Bänder (maximal etwa 30 m) von Rauchwacken, Dolomiten, dunklen Kalken und schwarzen Schiefen auf, deren Zugehörigkeit zu den Reichenhaller Schichten (PICHLERs Schichten mit *Natica stanensis*, ROTHPLETZs Myophorienschichten) durch seltene Funde von *Myophoria costata* und *Natica stanensis* erwiesen ist. Jeder Versuch einer Gliederung auf petrographischer oder gar faunistischer Grundlage muß im Gebiet von vornherein an der ungemëin gestörten Lagerung scheitern. An vielen Stellen ist die tektonische Beanspruchung so stark, daß der ganze Komplex in eine psammitische Dislokationsbreccie umgewandelt ist, so vor allem im Gebiet der Mittenwalder Karwendelspitz und im oberen Teil des hinteren Dammkars. Sehr zerquetscht sind auch die Reichenhaller Schichten am Nordwestfuß der Tiefkarspitz und

am Steinklippengrat. Am Nordfuß der Raffelspitz tauchen wieder weiche, leicht auswitternde Reichenhaller Schichten auf, die den Gjaidsteig bilden, die einzige einigermaßen gangbare Verbindung mit dem Karwendeltal. Die Fortsetzung nach Osten läßt sich in den Nordwänden der Bärnalp- und Schlichtspitzen auch morphologisch gut verfolgen. Ein normaler Verband ist nirgends zu erkennen. Selbst eine konkordante Ueberlagerung durch mittleren und oberen Muschelkalk, wie sie im etwas südlicher gelegenen Karwendel zuletzt von AMPFERER (1903, S. 174) festgestellt ist, kann mit Sicherheit nirgends beobachtet werden. Das ist durchaus verständlich in einer tektonisch so beanspruchten Zone, wie sie die Basis einer Ueberschiebungsschuppe darstellt. Damit werden die Reichenhaller Schichten trotz ihrer schlechten stratigraphischen Ausbildung zu einem wertvollen Hilfsmittel zur Erkennung der Tektonik.

Muschelkalk.

Auch der übrige Muschelkalk ist so gestört und lückenhaft erhalten, daß er ein nur ungeeignetes Objekt für petrographische und faunistische Studien abgibt. Seine Ausbildung als dunkler, von vielen weißen Kalzitadern durchsetzter, in der Regel dünnbankiger Kalk mit Hornsteinlagen und -knollen und dünnen Mergelzwischenlagen erlaubt jedoch meistens eine Abtrennung gegen den hangenden, grobbankigen oder massigen, helleren, bleigrauen Wettersteinkalk. Das ist eine beachtenswerte Ausnahme, denn in der Regel besteht ein allmählicher Uebergang vom Muschelkalk zum Wettersteinkalk. Das gilt auch für das übrige Karwendel, in dessen südlichem Teil, der Inntalkette, der Muschelkalk nach AMPFERER (1903, S. 176) viel fossilreicher und mächtiger entwickelt ist. Die Erkennung der wahren Mächtigkeit ist in der vorderen Karwendelkette nur mit großen Schwierigkeiten möglich, weil sie auf ganz kurze Entfernungen außerordentlich veränderlich ist. Immerhin mag sie bis zu 300 m betragen. Diese starke Veränderlichkeit wird vorgetäuscht durch die zahllosen Verwerfungen, die die Wände staffelförmig zerlegen. Eine anschauliche Strichzeichnung hiervon gibt ROTHPLETZ (1888, S. 58) von der Steilwand des hinteren Dammkars. Trotz dieser starken Inanspruchnahme gelang es ROTHPLETZ, wenigstens an den leichter zugänglichen Stellen (auf dem Damm) alle drei Horizonte (Gastropoden-, Brachiopoden- und Ammonitenhorizont) durch Fossilfunde zu belegen.

Die ladinische Stufe

ist nur durch den Wettersteinkalk vertreten, also durch die Rifffazies, deren Äquivalente in den westlichen Ostalpen die Arlbergkalke, in den östlichen Glieder des Ramsaudolomites darstellen. Das Fehlen von Partnachschichten oder sonstigen mergeligen oder tonigen Einlagerungen beweist die ununterbrochene Riffsedimentation vom Beginn der ladinischen Stufe an. Im allgemeinen herrscht innerhalb des Wettersteinkalks grobbankige Absonderung, nur stellenweise, besonders schön am Gipfel der Tiefkarspitz, schalten sich schichtunglose, klotzige Massen ein.

Die Mächtigkeit ist sehr schwankend, dürfte jedoch 700 bis 800 m — also etwa ebensoviel wie im Wettersteingebirge (nach O. M. REIS 1911) — erreichen. Danach scheint schon innerhalb des Karwendels eine Abnahme gegen Norden stattzuhaben, rechnete doch AMPFERER (1898, S. 312) in der Solsteinkette mit 1300, ja 1500 m Mächtigkeit. Es dürfte jedoch verfehlt sein, hieraus weitergehende Schlüsse zu ziehen (etwa auf schnelleres Absinken des Sedimentations-

beckens im Süden oder auf den Einfluß von Salinitätsschwankungen und dergleichen bei größerer Festlandsnähe), zumal die Frage noch keineswegs geklärt ist, in welchen räumlichen und zeitlichen Ausmaßen die Kalkfazies durch mergelige oder tonige Ablagerungen vertreten war, welche Beträge die Mächtigkeitsverminderung solcher pelitischen Ablagerungen durch die Orogenese erreichte, welche Massen tektonischen Bewegungen oder der Erosion zum Opfer gefallen sind, die im Norden wegen der größeren Nähe der Erosionsbasis stärker gewirkt haben muß als im Süden. Diese Fragen können erst auf Grund einer genauen zonenmäßigen Gliederung auf paläontologischer oder petrographischer Grundlage gelöst werden. Aber damit hat es seine Schwierigkeiten.

Denn die *F a u n a* ist in der Regel außerordentlich individuenarm. Diese Tatsache wird nicht abgeschwächt durch gelegentlich vorkommende Fossilansammlungen (Zugspitzabfall nach Ehrwald, Solsteinkette nördlich Innsbruck), die dann allerdings artenreiches Material lieferten. (REIS: Die Fauna des Wettersteinkalkes. Geogn. Jahresh. 1900, 1905, 1926; Fr. H. ALMA: Eine Fauna des Wettersteinkalkes bei Innsbruck. Ann. Naturhist. Mus. Wien 40 1926, S. 111 bis 129.)

Seine Zusammenstellung (REIS, v. KLEBELSBERG [1920] und ALMA) bedeutet bereits eine erste Grundlage für die stratigraphische Gliederung innerhalb des Wettersteinkalkes. Allerdings mag man an anderen Stellen, so in meinem Gebiet, an ihrer Durchführbarkeit zweifeln. Denn bestimmbare tierische Reste gehören zu den Seltenheiten. Einige baumförmig verzweigte Korallen vom Typus *Thecosmilia*, wenige *Cidaris*-Stacheln vom Gipfel der Raffel- und Tiefkarspitz, große, unbestimmbare Crinoidenstielglieder und Ammonitenbruchstücke aus dem Dammkar (Lesestück!) und eine nicht bestimmbare Einzelkoralle vom Wörner machen den gesamten faunistischen Befund aus.

Günstiger steht es mit der *F l o r a*, deren Hauptvertreter *Diplopora annulata* SCHAFFHAUTL auch in der vorderen Karwendelkette ungemein häufig, stellenweise geradezu gesteinsbildend auftritt. Selten befinden sich diese Kalkalgen — unter ihnen die perlschnurartige *Colospongia* — noch in ihrer Lebensstellung in situ: dann erkennt man im allgemeinen keine Abhängigkeit von der Schichtung. Die weitaus häufigeren und auffälligen Massenansammlungen sind aber Leichenplätze, die allerdings nicht weit vom Lebensort entfernt liegen mögen. Je nach der Länge und Intensität des Transportes bestehen diese (dann immer geschichteten) Zusammenschwemmungen aus mehr oder weniger gut erhaltenen Lagen. Sind sie wenig aufbereitet, so liegen die noch unzerbrochenen Schläuche wirr, aber in der Schichtfläche, bei weitergehender Zertrümmerung werden die Bruchstücke immer kleiner und kleiner und machen schließlich einem feinen Grus von abgerollten, nun nicht mehr als Organismen erkennbaren Bruchstücken Platz. Man mag derartige gut geschichtete Ablagerungen als lagunäre Bildungen oder Schuttausfüllungen von Hohlräumen innerhalb des Riffs auffassen, jedenfalls spricht das Fehlen jeglichen terrigenen Materials für größere Landferne oder doch für ein reines Meer geringer Tiefe, vorzüglicher Durchlüftung und Durchleuchtung.

Gelingt es nun leider noch nicht, eine *Z o n e n g l i e d e r u n g* auf faunistischer Grundlage herzustellen, so hat doch REIS 1911 im Wettersteingebirge gewisse *S t u f e n e i g e n t ü m l i c h k e i t e n* nach Gestein und Lebewelt ausscheiden können. Seine unterste Zone ist gekennzeichnet durch Neigung zu dolomitischer Ausbildung (nach REIS primär), durch das Vorkommen von

stromatolithischen Bildungen (Seesintergewächse) und des überwiegenden Teils der Fauna. Eine mittlere Zone ist weniger gut gebankt und fossilarm, zu erkennen an bankweise eingeschalteten Lagen von *Diplopora annulata*. In diesen beiden untersten Zonen ist Grossoolithtextur häufig. Die oberste Zone (etwa 100 m) zeigt mit ihren gelblichen, gutgeschichteten, dünnbankigeren Kalken, ihren nicht seltenen Megalodonten und dem völligen Fehlen von Diploporen einen allmählichen Übergang zu gewissen hellen Kalken der Raibler Schichten. Vorher hatten AMPFERER und HAMMER (1898, S. 312—314) die schon von PICHLER erkannte petrographische Gliederung in einen unteren dunklen, fossilreicheren und einen oberen hellen, dolomitischen, grossoolithischen Teil im südlichen Karwendel durch Fossilfunde belegen können. Neuerdings gelang es AMPFERER und OHNESORGE (Erl. Spez.-Karte Österr., Blatt 5047 und SW-Gruppe Nr. 29), sogar kartographisch die Gliederung in unteren „Partnachkalk“ und oberen Wettersteinkalk durchzuführen. Von keiner dieser Gliederungen ist im Gebiet eine Spur zu erkennen, es finden sich im Gegenteil sogar (mit Ausnahme der Dolomite) sämtliche nach REIS für eine bestimmte Zone bezeichnenden Merkmale im gesamten Komplex des Wettersteinkalkes.

Von anorganischen Gebilden sei die häufige Grossoolithtextur (nicht -struktur!) erwähnt, deren Bedeutung als Leitform für Riffgesteine kürzlich LEUCHS (1928, S. 359—388) hervorgehoben hat. Die meisten der dort abgebildeten und beschriebenen Formen konnten im vorderen Karwendel wiedergefunden werden. Aus dem übrigen Karwendel hatten sie ROTHPLETZ und AMPFERER (1888 und 1898, S. 312) bereits angeführt. Zu erwähnen sind noch die metasomatischen silberhaltigen Blei-Zinkerze, die an der Mittenwalder Erzgrube früher in wohl nie recht lohnendem Abbau gewonnen wurden. Heute ist der längst auflässige Stollen vermurt. Eine zusammenfassende Darstellung derartiger Vorkommen und Bergbaue findet sich bei GÜMBEL (1861, S. 245—247).

Karnische Stufe.

Die Raibler Schichten liegen als geringmächtiges, zum großen Teil von den Schutthalden verdecktes Band in bezeichnender Entwicklung unter den Nordabstürzen der Kette. Ihre Kalke, Mergeltone und Sandsteine sind ergiebige, seit ROTHPLETZ bekannte Fundorte der reichen karnischen Fauna und Flora (s. v. WÖHRMANN 1889 und 1893, BITTNER 1890).

Ein geschlossenes Profil, an dem man die im südlichen Karwendel gewonnenen stratigraphischen Zonen verfolgen könnte, ist wegen der starken Verwachsung, Schuttbedeckung und tektonischen Beanspruchung nicht zu erkennen. Die gleichen Gründe machen es unmöglich, die Gesamtmächtigkeit einwandfrei anzugeben, deren starker Wechsel auf kurze Entfernung tektonisch verursacht ist. Nach einem kleinen, bald unter Schutt verschwindenden Vorkommen an der Erzgrube bei Mittenwald erreichen die Raibler am Fuß der Vierer- und Kreuzwandspitze erhebliche Mächtigkeit. Östlich folgt einer der besten Aufschlüsse: der Lerchenstock am Predigtstuhl, aber bereits am Steinklippengrat und Wörnergrat sind die Raibler verschwunden, wenn man nicht eine schmale Zone völlig verquetschter rauchwackiger Dolomite (Mylonit) als letzten Rest der obersten karnischen Stufe ansehen will.

Vom Wörnergrat hat GÜMBEL (1861, S. 237) Raibler Schichten mit der „Fülle ihrer Versteinerungen“ beschrieben und im Profil dargestellt. Vielleicht ist dieser Irrtum auf Ortsverwechslung zurückzuführen.

Schon an den Kammleitenwänden erscheinen wieder echte Raibler (in der Hauptsache Rauchwacken, aber auch Mergel und dunkle Kalke), deren Fortsetzung noch an mehreren Stellen längs der Kette unter dem Schutt auftaucht.

Gips- oder Anhydriteinlagerungen, wie sie weiter nördlich in der Walchenseegegend (der Walchenseestollen hat ein Anhydritlager von 50 m Mächtigkeit angefahren, s. KNAUER 1924, S. 40) vorkommen, mögen im Gebiet vorhanden gewesen sein, sind aber dann durch Auslaugung verschwunden. Dagegen finden sich häufig in den sandigeren Bänken unbestimmbare Pflanzenreste als „Häcksel“, wie sie aus den umliegenden Gebieten REIS aus dem Wettersteingebirge (1911), BODEN (1914) aus den Tegernseer Bergen, STUR 1885, PICHLER 1875, v. MOJSISOVICS 1874 und GÜMBEL 1861 erwähnt haben.

An dieser Stelle mag ein interessanter Fund genannt sein, der von A. E. REUSS (1867, S. 277) beschrieben wurde, aber anscheinend in Vergessenheit geraten ist. Es handelt sich um kohlige Reste mit konzentrischer Streifung aus plattenförmigen grauen Kalken der Raibler Schichten westlich von Aussee (Salzkammergut), die man anfangs für Pflanzen hielt. REUSS widerlegte diese Ansicht und glaubte in den Funden Reste der Rückenschilde von Crustaceen erkennen zu können. Die von ihm beigefügten Abbildungen lassen jedoch mit Sicherheit erkennen, daß es sich um Anaptychen handelt, deren Erhaltungsweise nach Text und Abbildung völlig übereinstimmt mit den von Martin SCHMIDT (1928, S. 399—432) beschriebenen „primitiven“ Anaptychen aus dem Lias von Holzmaden.

Norische Stufe.

Hauptdolomit.

Allgemeines.

Der Hauptdolomit nimmt die größte Fläche des Gebietes ein. Es sind zwei in Ausdehnung, Lagerung und damit Morphologie voneinander abweichende Vorkommen zu unterscheiden. Die Grenze bildet etwa die Linie Marmorgraben—Vereinsalm—Brandelalm, d. h. die Kreidemulde. Der Hauptdolomit des Südflügels zeigt fast durchweg strenges Ost-West-Streichen bei saigerer Stellung, im Norden überwiegt sehr flache, oft mehr oder weniger horizontale Lagerung.

Trotzdem erreichen die maximalen wahren Mächtigkeiten auf beiden Seiten annähernd gleich große Beträge: im allgemeinen etwa 1000 m, stellenweise über 1500 m. Es ist kein Grund vorhanden, diese hohen Mächtigkeitsziffern zu reduzieren. Es wäre im Gegenteil höchst eigentümlich, daß Schubflächen in zwei zusammengehörigen, aber grundverschieden lagernden Bezirken dasselbe Ergebnis zeitigen sollten. Außerdem brauchen derartig hohe Mächtigkeiten nicht zu überraschen, kennt man doch ähnliche Ziffern aus den umliegenden Gebieten: im Vorland des Wettersteingebirges erreicht der Hauptdolomit nur etwa 600—700 m (REIS 1911), in den Farchanter Alpen (zwischen Ammer und Loisach) rechnen M. RICHTER und H. G. STEINMANN mit 1200 m (1927); HABER (1927) konnte jedoch in demselben Gebiet mehrere Schuppen im Hauptdolomit erkennen, dessen wahre Mächtigkeit danach nur etwa 400 m beträgt. Am Walchensee (Herzogstand, Heimgarten, Kesselberg) werden nach KNAUER (1905 und 1924) 1000, ja 1200 m, zwischen Isartal und Kochelsee nach AIGNER (1912) etwa 700 m erreicht.

Auch die petrographische Ausbildung ist gleich auf beiden Flügeln der Kreidemulde. Es herrscht die für den bayerisch-nordtiroler Faziesbereich bezeichnende Entwicklung.

Die bituminösen Mergel.

Die bituminösen Mergel vom Typus der „Seefelder Asphalt-schiefer“ erfordern eine eingehendere Besprechung.

Der Name „Asphalt-schiefer“ (Brand-, Öl- oder Fischschiefer) stammt von dem Vorkommen bei Seefeld in Tirol. Hier mag tatsächlich die Bezeichnung „Schiefer“, besonders für die fischführenden Lagen, zulässig gewesen sein. Dann aber übertrug man den Ausdruck auf alle die bitumenführenden schwarzen (meist mergeligen, tonigen oder dolomitischen) Einlagerungen im norischen Hauptdolomit, die die Bezeichnung „Schiefer“ keineswegs mehr rechtfertigen. Ich gebrauche deswegen (mit SANDER 1921) für derartige Zwischenlagen das neutralere Wort „bituminöse Mergel“.

Ihre technische Verwertbarkeit lenkte frühzeitig allgemeineres Interesse auf sie und hatte eine unzuverlässige, übertreibende Gutachten-Literatur zur Folge. Die älteren Bergbaue (das Asphaltwerk Seefeld ist 1845 gegründet) gewannen Asphalt-Teer und durch dessen teilweise Destillation Steinöle und abgedampften Teer, der als Asphalt-Mastix in den Handel kam (siehe FOETTERLE 1856, S. 196, und M. v. ISSER 1888). Die Bitumina des Ölgrabens fanden nach GÜMBEL (1861, S. 323) Verarbeitung auf „Wagenschmiere und für Vieharznei“. Die jüngeren Unternehmungen legten das Schwergewicht auf die Gewinnung verschiedener Mineralöle. B. SANDER (1922, S. 35) führt eine Serie von Analysen an, die an hochwertigem Material des Ölschieferwerkes „Karwendel“ in Krünn gewonnen sind: in 7 Analysen schwankt der Gehalt an Gas zwischen 10,8 und 16,8 %, an Öl zwischen 4,3 und 26,1 %, an C zwischen 5,6 und 18,9 %, an Wasser zwischen 0,8 und 4,6 %. Innerhalb dieser Werte halten sich fast alle Analysen ausgesuchten Materials vom Seefelder Typus.

Die Verbreitung in meinem Gebiet ist nicht so beschränkt, wie es nach den bisherigen Arbeiten scheinen möchte. GÜMBEL (1861) führt als einziges Vorkommen den Seinsbach an; es ist mir nicht gelungen, hier bituminöse Mergel aufzufinden, und auch Nachfragen bei der eingesessenen Bevölkerung konnten darüber nichts ermitteln. Auch ROTHPLETZ (1888) kennt diesen Fundpunkt nicht, er erwähnt nur Vorkommen im Fischbach und Fermersbach, die aber bereits außerhalb des Gebietes liegen. Tatsächlich finden sich die bituminösen Mergel im Gebiet nur an fast unzugänglichen Stellen und erreichen selten größere Ausdehnung.

Der Felsen graben bei Krünn verläuft in seiner ganzen Länge nur im Hauptdolomit, der meist horizontal liegt oder ganz schwach nach Norden fällt. In etwa 1000 m Meereshöhe sind vom Bach hältige Mergel angeschnitten worden, deren stark wechselnde Mächtigkeit 20 m erreichen dürfte. Der normale Hauptdolomit wird sehr schnell dünnbankig, die bituminösen Lagen werden häufiger und mächtiger und zugleich damit zerquetschter und gefälter, schließlich erreichen sie 30—40 cm Dicke. Darüber liegt wieder sehr dünnbankiger, toniger, tauber und schließlich normaler Hauptdolomit. Der dichte Wald verhindert ein Verfolgen im Streichen, im nächsten Bachbett geht nichts mehr davon zu Tage.

Ein ähnliches Lager ist durch die große Ochsenlähne, eine mächtige, trockene Reiß, auf dem latschenbewachsenen Westhang des Seinskopfes da aufgeschlossen, wo der oberste Jagdsteig sie quert. Der großartige Aufschluß vermittelt ein klares Bild des allmählichen Überganges vom normalen Hauptdolomit zu den reinen Bitumenlagen, deren Mächtigkeit höchstens wenige dm erreicht. Stellenweise sind dann Konglomeratbänke eingeschaltet, die bald wieder auskeilen. Mergelige und sehr tonige Einschaltungen liegen zwischen reinen, sehr festen Dolomiten, die kohlige Pflanzenreste (unbestimmbares Häcksel) und Fischreste führen. Im Streichen konnten sie einige 100 m weiter nördlich, im nächsten

Bachbett, hier schon wesentlich geringer mächtig, wiedergefunden werden. Nach Süden scheint das Flöz sehr bald zu vertauben.

Ein drittes Vorkommen liegt im östlichen Soiernkessel in den Wänden, die nordwestlich der Soiernlake gegen den östlichen Soiernsee hinziehen, etwa in 1700 m Höhe. Das Flöz streicht mitten in einer unzugänglichen Wand von Ostwest streichendem, annähernd senkrecht stehendem Hauptdolomit aus, deshalb konnten die Lagerungsverhältnisse und Mächtigkeit auch mit dem Glase nicht festgestellt werden. In den Rollstücken finden sich Bitumenlagen von mehreren cm Mächtigkeit, in denen ich einen sphärodonten Fischzahn fand.

Ein viertes Vorkommen schließt der Bärnbach zwischen 1180 und 1190 m auf. Hier kommt es allerdings nicht ganz zur Ausbildung von mächtigen Bitumenlagern, allein die gesamte Gesteinstracht ist die des Seefelder Typus mit seinen tauben Begleitgesteinen. Ein Profil zeigt die Wechsellagerung von normalem Hauptdolomit und stark bituminösen, mergeligen und feingebänderten Schichtpaketen.

Die petrographische Ausbildung ist an sämtlichen Fundorten ähnlich. Eine eingehende Beschreibung dieses Seefelder Typus findet sich bei SANDER (S. 136), sodaß ich mich mit dem Hinweis darauf begnügen kann.

Ihre größte Bedeutung für die Stratigraphie gewinnen die Bitumenmergel durch ihre organischen Reste. Der Erhaltungszustand der Flora hat bis jetzt jedem Bestimmungsversuch getrotzt (mit Ausnahme einiger Coniferenzweige: *Cupressites alpinus* GÜMB., die früher im Ölgraben vorkamen (GÜMBEL 1861 und ROTHPLETZ 1888)). Am unkenntlichsten sind die pflanzlichen Reste in den kohligten Lagen der Feinschichtung (Mikrohäcksel). Besser erhalten, aber auch nicht bestimmbar sind die schilffartigen Bruchstücke in den festen Dolomiten des Hangenden und Liegenden. Leider läßt sich nicht einmal entscheiden, inwieweit Meerespflanzen (Tange und Algen) beteiligt sind. Die kohligten Reste sind als „authigene, aus häutigen bis häckseligen sedimentierten Pflanzenresten zu deuten, welche im Gestein inkohlt wurden“ (SANDER 1922, S. 33). Von besonderem Interesse sind runde, ovoide Körperchen, die lagenweise so häufig werden, daß sie einen beträchtlichen Anteil der gesamten Bitumenschicht ausmachen. SANDER (1922) hält sie wohl mit Recht für Pollen (die Größe ihres Durchmessers liegt zwischen 0,01 und 0,02 mm) und sieht in ihren Ablagerungen den Typus einer primär bituminösen Lagerstätte (s. u.).

Noch größere Bedeutung für die stratigraphische Stellung des Hauptdolomits besitzt die Fauna der bituminösen Mergel, gaben doch die in ihnen gefundenen Fische erst die Möglichkeit einer Altersfeststellung des fossilarmen Hauptdolomits (HECKEL 1850 und KNER 1866—1869). Damit ist aber auch, abgesehen von einem unsicheren *Teleosaurus* (KNER, Sitz. Ber. Ak. Wiss. Wien 56, 1867), die Ausbeute an makroskopisch erkennbaren Tieren erschöpft. SANDER (1922) fand bei seinen ausgedehnten mikroskopischen Untersuchungen die erste Kleinfauuna, vorwiegend einen Mikroschill verschiedener Kalkschälchen, der mit Vorliebe in den tonigen Feinschichten auftritt. Unter diesen Schälchen glaubt SANDER (S. 38) Ostrakoden, Zweischalerbrut und einmal Foraminiferen erkannt zu haben.

Über die Bildungsweise der Mergel gibt uns der petrographische und faunistische Befund Auskunft. Die Untersuchungen SANDERs (1921 und 1922) haben wohl einwandfrei erwiesen, daß wir es mit zwei grundverschiedenen bituminösen Gesteinsarten zu tun haben. Den primären Bitumenlagern („die hochbituminösen Kohlen des Hauptdolomits“) stehen gegenüber bitumenärmere sekundäre Lagerstätten, also „fossile Petrollagerstätten der alpinen Trias“, mit ehemals mobilem, jetzt karbonisiertem Bitumen. Eine scharfe Trennung beider Lagerstätten ist nicht möglich, sie sind durch alle Übergänge miteinander verknüpft.

Zu den primären Bitumenlagern gehören 1. die eigentlichen Asphaltflöze, in Wirklichkeit bitumenreiche Tongesteine (Sapropelite nach POTONIÉ) von mattkohleartigem Aussehen, die aus feinsten Tonpeliten und authigenem Bitumen bestehen, und 2. die bitumenarmen Kalktongesteine mit ihrer ausgezeichneten Feinschichtung. Beweise für die primäre Natur des Bitumens: die Haarrisse sind ohne Einwanderung von Bitumen durch Calcit verheilt, Mikroschille (deren Schälchen nie von Bitumen imprägniert sind) schalten sich den tonigen Lagen ein, in den bituminösen Lagen finden sich Pollen und primäre Kohle, jede Spur von Bitumenwanderung quer zur Feinschichtung fehlt; außerdem sind folgende Hauptkennzeichen von primärem Bitumen festzustellen: das primäre Bitumen geht im Großen wie in der Feinschichtung mit tonigem Sediment, das sekundäre fast immer mit großporigem; mit primärem Bitumen geht fast immer Schwefeleisen oder Pyrit, mit eingewandertem nie, bezeichnend für die meisten primären Bitumenlager ist authigene Kohle.

Diesen primären Faulschlammern stehen die schwarzen Kalke und Dolomite gegenüber (ohne von ihnen räumlich scharf geschieden zu sein), deren Bitumengehalt sekundär ist. Beweise für Imprägnation durch ehemals mobiles Bitumen sind die vollständige Erfüllung des primären Porenvolumens, das Fehlen der Reste eines figurierten Bitumenbringers und bezeichnender Begleiter primärer Bitumina (Schwefeleisen, Ton und primäre, authigene Kohle). Der technische Wert ist aus den Analysen ersichtlich: Der Gasgehalt schwankt zwischen 2,5 und 8 %, Öl zwischen 0 und 1,2 %, Kohle zwischen 1 und 4,7 %, Wasser zwischen 0,7 und 1,3 %. Als Kohle ist das Gestein zu aschenreich, das Ölausbringen ist fast gleich null, die Gesteine sind also praktisch wertlos.

Diese Untersuchungen SANDERs konnte ich an reichem Material aus meinem Gebiet bestätigen. Ihre Anwendung auf die Frage der Lithogenese führte zu folgenden Ergebnissen:

Den Schlüssel der Erkenntnis mußten die bis an die Sichtbarkeitsgrenze feingeschichteten Kalk-Ton-Gesteine liefern. (Die sekundär infiltrierten Dolomite kommen bei dieser Fragestellung nicht in Betracht.) Ihre braun bis schwarzweiße Repetitionsschichtung kommt zustande durch Wechsellagerung von fast rein tonigem oder kalkigem (hellem) mit tonig-bituminösem (dunklem) Material. Beim Glühen verschwindet die Feinschichtung fast völlig, weil das färbende Bitumen vergast. Die makroskopische Betrachtung lehrt, daß im allgemeinen die einzelnen Schichten durchgängig sind und ziemlich gleichmächtig auf größere Entfernung; Ausnahmen wie knollige Verdickungen, wulstartige Bildungen, Auskeilen der Schichten, Linsenbildung fehlen jedoch nicht. Dagegen wechselt die Mächtigkeit der einzelnen Schichten gegeneinander außerordentlich stark (oft 100- ja 1000-fach bei übereinanderliegenden Schichten). Wir müssen also auf einen häufigen, aber sehr unregelmäßigen Rhythmus in der Sedimentation schließen.

Aufschlußreicher ist die mikroskopische Betrachtung im An- oder Dünnschliff. Zunächst bestätigt sie den makroskopischen Befund. In ein und derselben Schicht ist die Verteilung und Menge des Bitumens sehr gleichmäßig und anhaltend, in verschiedenen Schichten treten für beide jähe Schwankungen ein. Die bituminösen Feinschichten (Pollen, organischer Detritus) sind stellenweise reich an Foraminiferen, in den tonigen hellen Zwischenschichten konnte ich organische Reste nicht nachweisen.

Hiernach schien es außerordentlich naheliegend, den Rhythmus durch jahreszeitlichen Wechsel zu erklären (SANDER 1921 und 1922 hat u. a. auch tektonische Vorgänge, d. h. einen dauernden Wechsel von Hebung und Senkung verantwortlich machen wollen. Über diese Ansicht s. u.). Der Sommer brachte zusammen mit dem feinen Tonpelit die reiche Menge der Pollen und des Planktons, Ostrakoden und Muschelbrut und „koprogene“ Substanz, Wind und Wasserströmungen führten Pflanzenreste herbei; es entstanden die schwarzen Bitumenlagen. Im Winter gibt es keine Pollen und kein Plankton, keine grünen Pflanzen: reiner Ton oder Kalkschlick muß sich ablagern.

So einleuchtend dieser Erklärungsversuch auf den ersten Blick scheinen möchte, so wenig zwingend ist er. Denn andere periodische Abläufe können ähnliche Wechselschichtung hervorbringen, z. B. Gezeitschichtung oder täglicher Wechsel zwischen an- und ablandigen Winden infolge Sonnenbestrahlung usw.

Auffällig ist weiterhin ein gewisser Rhythmus innerhalb der gesamten feingeschichteten Masse. Hier kann man oft deutlich eine Wechsellagerung von Paketen außerordentlich scharf begrenzter Feinschichten (25—50) mit etwa gleichmächtigen Paketen hellerer, verwischter Feinschichten beobachten. Auch für diesen Rhythmus konnte eine befriedigende Lösung noch nicht gefunden werden.

Das taube Begleitgestein (mehr oder weniger tonreich) läßt die Feinschichtung nicht mehr so stark erkennen, ist aber außerordentlich reich an Fischresten (Zähnen u. a. von *Colobodus* [nach freundlicher Bestimmung durch Herrn Dr. WEITZEL], Stacheln, Schuppen usw.). Weiße, kalkigere Lagen sind stellenweise fast nur aus Foraminiferen aufgebaut.

Es lag nahe, nunmehr die Frage zu prüfen, ob die Lagen bituminöser Mergel irgendwelche Bedeutung für eine Gliederung des sonst so gleichförmigen Hauptdolomits erlangen können, sei es daß sie auf bestimmte Horizonte beschränkt sind, sei es daß ihre Fauna eine Eingliederung erlaubt.

So reichlich man in der Literatur Notizen über das Vorkommen von Bitumenmergeln im Hauptdolomit antrifft, so selten sind genaue Angaben über ihre stratigraphische Stellung. Die Beobachtungen AMPFERER'S (1898, S. 320), beschränken sich auf die Feststellung, daß sich größere Züge der Bitumenmergel von Seefeld nur in den oberen Horizonten des Hauptdolomits finden. Auch OSSWALD (1925) fand sie im Risserkogelgebiet nur im oberen Hauptdolomit. Gelang es im Gebiet auch nicht, die Bitumenlager auf mehrere Kilometer im Streichen zu verfolgen, so konnten doch die einzelnen Vorkommen innerhalb des Hauptdolomitkomplexes einigermaßen stratigraphisch festgelegt werden. Es stellte sich dabei heraus, daß das Vorkommen des Felsengrabens den unteren Abteilungen des Hauptdolomits zuzurechnen ist; das der Ochsenlähne gehört einem etwa 300 m höheren Horizont an. Ebenfalls unterer Hauptdolomit sind einige schmale bituminöse Bänder, die sich in den Steilwänden südwestlich der Hochlandhütte und in den vorderen Kammleitenwänden finden. Die Bitumenmergel des Bärnbaches liegen in den mittleren Abteilungen und nur der Fundpunkt im Soiernkessel gehört den obersten 100 m des Hauptdolomits an. Das Ergebnis dieser Umschau: Die Bitumenmergel können in sämtlichen Abteilungen des Hauptdolomits auftreten, sind also als petrographische Leithorizonte nicht zu gebrauchen.

Ebensowenig ist heute eine Gliederung nach ihren organischen Resten möglich. Bezeichnende Makrofossilien (Fische) sind zu selten und die

Mikrofauna ist zu wenig charakteristisch, als daß sie zu einer Horizontierung herangezogen werden könnten.

Immerhin scheint ein quantitativer Unterschied gegenüber dem Seefelder Dolomitbezirk darin zu bestehen, daß im nördlichen Karwendel bituminöse Mergel sehr viel seltener, außerdem in der Ausdehnung viel beschränkter sind als die Lager der südlichen Dolomitbezirke, deren zahlreiche Wiederholungen und schwarmartiges Auftreten, verbunden mit einer Ausdehnung von mehreren Kilometern im Streichen, AMPFERER^s und HAMMER^s Karte (1898) wiedergibt. Man könnte daraus schließen, daß (wenigstens im oberen Hauptdolomit) der Süden des Meeres unter größerem Landeinfluß gestanden, das nächste Festland also im Süden gelegen haben müsse. Dem widerspricht aber das Vorkommen großer Bitumenlager im Norden, von denen das des Ölgrabens eine Mächtigkeit von einigen Metern erreicht (was unter der angenommenen Voraussetzung wieder auf Landnähe des nördlichen Meeresteiles deuten müßte). Andererseits hat man unruhige Bodenbewegungen (SANDER 1921 und 1922) angenommen, die bald hier bald da den Meeresboden heben und chersogenen Einflüssen zugänglich machen sollten. Die Annahme solcher „flacher, schlammiger, geschützter Meeresbuchten“ (DEECKE, S. 79) oder „Gebilde ungestörter lagunärer Sedimentation in stehendem Gewässer“ (SANDER 1921, S. 141) läßt sich aber aus folgendem Grund nicht aufrechterhalten. Sollten lagunäre Becken vom übrigen Meere abgeschlossen werden, so kann die Trennung nur durch gehobenes Sediment des Hauptdolomitmeeres verursacht worden sein (Korallenriffe, die zur Bildung von Lagunen geführt haben könnten, fehlen völlig). Wir müßten also im Streichen jedes dieser Resttümpel einen ausgeprägten Hiatus mit all den Kennzeichen einer Trockenperiode finden. Das trifft aber nicht zu. Hier sind ebensowenig wie im übrigen Hauptdolomit irgendwelche Anzeichen von vorübergehender Trockenlegung zu beobachten. Außerdem müßte die neue Transgression des Meeres jedesmal ihre Spuren im feinen Sapropelit hinterlassen haben.

Die linsenförmige Einschaltung in ungestörtes marines Sediment beweist also die submarine Entstehung der Bitumenmergel. Sie sind nicht horizontbeständig, also reicherten Strömungen das leichtbewegliche feine Material an besonders geschützten Stellen ab. Solche Stellen können aber nur kolkartige Vertiefungen des Meeres gewesen sein (nicht Rücken oder Schwellen, auf denen die Strömung viel stärker ist), nach deren Ausfüllung wieder normal sedimentiert wurde. Damit findet auch das unregelmäßige regionale und vertikale Vorkommen, die schwankende Mächtigkeit und verschieden große Ausdehnung eine ungezwungene Erklärung. Wenn ein Gebiet des Meeresbodens besonders zur Bildung solcher Vertiefungen neigte, entstanden mehrere Mergellinsen an derselben Stelle übereinander, vielleicht weil infolge der Strömungsverhältnisse des Meeres an solchen Stellen am wenigsten klastisches Material angehäuft wurde, vielleicht in der Beckenmitte, wo die von beiden Längsküsten vorrückende, nach dem Innern zu erlahmende Sedimentation einen langgestreckten Kolk verursacht haben mag (möglicherweise finden gerade auf diese Weise die häufig übereinanderlagernden, mehrere Kilometer langen Asphaltmergelvorkommen von Seefeld eine Erklärung). Die ungestörte lückenlose Lagerung und das Fehlen von Kreuzschichtung beweisen sehr schwache Strömungen und geringen Einfluß der Gezeiten, falls sie vorhanden waren. Die Durchlüftung und der Wasseraustausch waren schlecht. Ein Tierleben konnte sich kaum entfalten (einige Würmer bilden heute die einzigen Bewohner ähn-

licher Tröge), es waren Begräbnisplätze, nicht Lebensplätze (wie LEUCHS 1927, S. 45, und SANDER 1921 und 1922 glauben): Die Mikrofauna besteht aus zerbrochenen Schälchen, die zahlreichen Fische sind vielleicht in dem vergifteten Wasser der Löcher umgekommen und niedergesunken. Für Festlandnähe sprechen das Pflanzenhäcksel und die Pollen ebenso wie die guterhaltenen Zweige vom Ölgraben. Rückschlüsse auf die Lage der nächsten Küste können aus dem Erhaltungszustand der chersogenen Makroformen nicht gezogen werden, dafür sind die Ausmaße des Meeres zu gering und die Ausbildung zu einheitlich; der Durchmesser der meisten chersogenen Mikroformen, also der Bitumenbringer (Pollen, Plankton usw.) liegt aber unterhalb der minimalen Abrollungsgrenze. Eine mechanische Abnutzung findet also hier auch bei langem Transport nicht statt. Muschelbrut und Ostrakoden beweisen einen Lebensplatz von nicht viel unter 200 m, wahrscheinlich weniger. Die Kolke, in denen sich die bituminösen Mergel bildeten, können aber nicht erheblich viel tiefer gewesen sein als der umgebende Meeresboden, denn wir kennen keine starken Böschungen aus dem Hauptdolomit, auch nicht an der Grenze gegen die Kolke. Der Sedimentationsraum des Hauptdolomits der bayerisch-nordtiroler Fazies war also ein Schelf, die eingeschalteten Bitumenmergel sind in kolkartigen Vertiefungen in stillem, tieferem Wasser abgesetzt als der normale Hauptdolomit, nicht in flacherem Wasser. Der starke Bitumengehalt der gesamten norischen Stufe beruht auf dem organischen Detritus, der infolge der natürlich nicht vollständigen Trennung durch Strömungen im gewöhnlichen Sediment zurückgeblieben war. Seine Struktur und Form ist bei der Diagenese verlorengegangen.

Das bekannteste rezente Gegenstück zu diesen Verhältnissen bietet die Ostsee (ANDRÉE 1920, S. 530 ff.). Der Mudd, ein organisches Detritus-Sediment (vorwiegend benthonische Pflanzenreste, Plankton, Reste von Bodentieren), ist in seiner Verbreitung beschränkt auf „die größeren Tiefen und engbegrenzten Mulden und Löcher, während er auf flacheren, küstennahen Böden oder auf Bänken nur eine feine Schicht bildet, die aus . . . frisch gebildetem Mudd besteht. Wasserbewegungen verschiedenster Art, Gezeitenbewegungen, Strömungen, Stürme und Soogstrom, nicht zuletzt auch . . . die Aufwirbelung durch bodenbewohnende Tiere bewirken, daß sich der Mudd tiefer und tiefer bewegt, um mehr oder minder mächtige Lager zu bilden. So soll dieses organogene Sediment in der Landsort-Tiefe, die bis 463 m mißt, in der größten Tiefe eine Mächtigkeit von 5 m erreichen“ (ANDRÉE). Am häufigsten liegen diese Löcher in Tiefen von 50 bis 200 m. Eines der bekanntesten Vorkommen ist der „weiße oder tote Grund“ der Kieler Bucht, dessen salzreicheres Tiefenwasser durch seinen großen H_2S -Gehalt die Fische abtötet (vgl. E. ERDMANN, Jahrb. Hallesche Verb. 3, S. 123, Halle 1921). In der Nordsee fehlen die mit Mudd erfüllten Löcher und Vertiefungen, offenbar weil die Gezeitenströme zu stark sind und einen Absatz des leichtbeweglichen Materials nicht zulassen.

Die Übereinstimmung mit den Bitumenmergeln ist mutatis mutandis verblüffend: Pollenkörner der Kiefer, winzige zarte Chitinpanzer von Daphnien (die in zwei Hälften zerfallenden Panzer der *Bosmina maritima* treten fast sedimentbildend auf), überwiegend pflanzliche Reste, Häcksel von Algen und Tangen, Schwefelkieskonkretionen usw. bilden hier wie dort bezeichnende Leitformen.

I. M. CLARKE hat am Beispiel der schwarzen, pyritreichen Geneseeschiefer des Oberdevons von Neuyork wahrscheinlich machen können, daß auch manche

anderen bituminösen Schieferablagerungen unter ähnlichen Umständen entstanden sind (vgl. KAISER, Lehrb. d. Geol. 1923: Kupferschiefer des Zechsteins).

Rote Tone.

Das Beispiel der bituminösen Mergel hat bewiesen, wie fruchtbar die Betrachtung abweichender Einschaltungen für die Genese des gesamten normal entwickelten Sediments sein kann. Da gerade der Hauptdolomit den Erklärungsversuchen seiner Entstehung bisher die größten Schwierigkeiten entgegengesetzt hat, wurde schon bei den Geländearbeiten besonders auf derartige nichtdolomitische Einschaltungen geachtet.

Von besonderem Interesse ist das Vorkommen von roten Tonen im mittleren Hauptdolomit des Karwendelvorgebirges. Der Fundpunkt liegt in den schwer zugänglichen Nord-West-Wänden des Seinskopfes etwa in 1580 m Meereshöhe. Sehr festem und feinkörnigem Hauptdolomit sind geringmächtige (maximal etwa 3 cm) rote, fossililere, quarzfreie Tonlagen eingeschaltet, die sich in geringen Abständen meistens mehrmals wiederholen. Die Mächtigkeit des gesamten Komplexes von der untersten bis zur obersten roten Lage beträgt etwa 10—15 cm. Die Schwierigkeit des Geländes gestattet eine Verfolgung der Einschaltung nur auf wenige Meter.

Dieser Fund gewinnt an Interesse durch Vorkommen ähnlicher Tone im übrigen Hauptdolomit des bayerisch-nordtiroler Faziesbezirkes. DACQUÉ (1912, S. 19) hat zum ersten Male eine solche Zwischenlage in den Schlierseer Bergen (Baumgartenberg) gefunden. Die Mächtigkeit beträgt einschließlich der grünlich-gelben Uebergangszone etwa 1 m. Der Schichtverband und die Ausbildung (nach DACQUÉ'S Beschreibung) stimmen so völlig mit meinen Funden überein, daß an einer genetischen Gleichsetzung nicht gezweifelt werden kann.

Dem DACQUÉ'schen folgte bald noch eine ganze Reihe weiterer Funde bunter (roter) Tone vom Alpennordrand: K. A. REISER (1920, S. 77) fand in der Hindelanger Gegend im Allgäu und M. RICHTER (1923, S. 199) in den Pfrontener Bergen ebenfalls fossililere, blaßgrüne Tone und Schiefer (Mächtigkeit bis zu $\frac{1}{2}$ m) im Hauptdolomit; aus den niederösterreichischen Voralpen sind die ersten geringmächtigen Einlagerungen rötlicher, grünlicher und gelblicher sandig-fettiger Schiefer von A. SPITZ (1919, S. 9) bekanntgemacht worden. In letzter Zeit hat NÖTH (1926, S. 431) in den Chiemgauer Bergen dieselben roten Lagen an mehreren Stellen festgestellt. Wieweit Erwähnungen ähnlicher bunter Tone vom Alpennordrand (Erl. Bl. Tegernsee 1:100 000, 1926, S. 9, und KOBER 1912, S. 448) auf eigenen neuen Funden beruhen, läßt sich aus den knappen Andeutungen nicht entnehmen. Lokale Rotfärbungen im Hauptdolomit der Wendelsteingruppe möchte OSSWALD (1929, S. 23 und 24) ebenfalls als Einschwemmungen arider Verwitterungsprodukte aus dem nördlichen Festland aufgefaßt wissen. Solche Rotfärbungen finden sich auch im Gebiet beim Aufstieg von der Hochlandhütte zum Wörnergrat, wo die letzten Serpentin des Weges mehrmals eine harte, rotgefärbte Bank von über 1 m Mächtigkeit schneiden.

Es kann wohl keinem Zweifel unterliegen, daß diese nach Norden zu mächtiger werdenden Lagen tonigen Materials Einschwemmungen von einem nördlichen Festland darstellen. Für nicht allzu große Entfernung der Küste sprechen auch die von SPENGLER (1918, S. 30) im Salzkammergut gefundenen kleinen Kohlenflözchen, die offenbar aus ins Meer hinausgeschwemmtem Treibholz entstanden sind. Auch PIA (1912, S. 580) erwähnt Einlagerungen von Kohleschmitzen im Hauptdolomit des Hölleengebirges.

Die Fauna des Hauptdolomits.

Bis vor kurzem galt der Hauptdolomit der bayerisch-nordtiroler Fazies für fossilieer. Diese Ansicht war so verbreitet, daß sie sogar in Lehrbüchern Aufnahme fand und die meisten alpinen Arbeiten der letzten Jahrzehnte mit

ihr als einer bedauerlichen, aber unabänderlichen Tatsache rechneten. So ist es verständlich, daß neuerliche Funde mikroskopischer (LEUCHS 1928, S. 421 bis 423) und makroskopischer (TRUSHEIM 1928, S. 291—294) Fossilien im echten Hauptdolomit als „erste“ Funde in die Literatur übergegangen sind. Bei der Durchsicht besonders der älteren Arbeiten haben sich jedoch nachträglich mehrere Notizen über Fossilien im Hauptdolomit gefunden, die hier zusammengestellt sein mögen. Damit werden die eben angegebenen Fundberichte nicht wertlos, handelt es sich doch bei den älteren Angaben meist nur um unbestimmte und schlecht bezeichnete Reste ohne Angabe eines Fundortes oder gar Horizontes.

GÜMBEL (1861, S. 354—355) kennt „nur sehr vereinzelt (Versteinerungen) in den unteren Regionen des Hauptdolomits“, ohne Namen oder Fundstelle zu nennen. *Megalodon triquetus* konnte er zwar nicht finden, „obwohl es sehr wahrscheinlich ist, daß . . . auch der . . . Hauptdolomit sie enthalte“.

PICHLER (1869, S. 209) konnte diese Annahme GÜMBEL'S bestätigen. Er fand in der Nähe von Pertisau am Achensee Hauptdolomit, „dadurch interessant, daß er wie bei Leibelng hie und da Durchschnitte von *Megalodon triquetus* zeigt“.

v. AMMON (1878, S. 1—72) gibt eine eingehende Übersicht über sämtliche bis dahin bekannte Gastropoden des Hauptdolomits, wobei es sich allerdings bei der Mehrzahl der Fossilien um Reste aus einem anderen Faziesbezirk, den Südtiroler Dolomiten, handelt, außerdem ist der Plattenkalk und Dachsteinkalk den Untersuchungen einbezogen worden. Es mußte deswegen nachträglich eine strenge Scheidung auf Grund der Fundpunkte und Gesteinsbeschreibung vorgenommen werden, um Angaben über allfällige Fossilien des echten bayerisch-nordtiroler Hauptdolomits zu finden. Deswegen ist bei der Beurteilung dieser unsicheren Funde alle Vorsicht am Platze: *Natica limnaeoides* v. AMMON „stammt aus einem unzweifelhaften Hauptdolomitstück, das ich im Glazialschotter . . . unweit Schliersee gefunden habe“.

Aus dolomitischem, leicht bräunlich-grauem, bituminösem, etwas tonigem, „offenbar zum Hauptdolomit gehörigen“ Gestein des Plumserjochs (hier finden sich auf der Karte von ROTHPLETZ 1888 und AMPFERER 1912 außer Hauptdolomit noch Plattenkalk und Kösseerschichten) führt v. AMMON folgende Formen an:

Turbo (Worthenia) solitarius BEN.,

Cerithium jugale v. AMMON,

Actaeonina elongata MOORE sp.

„Die Exemplare (dieser Fundstelle) sind mit der Schale, die in gelblich-weißen Kalkspat umgewandelt ist, erhalten.“

CORNELIUS (1921, S. 18) fand im Hauptdolomit des Allgäu nur „einen unbestimmbaren Gastropodendurchschnitt“.

OSSWALD (1924, S. 116) konnte im unteren und mittleren Hauptdolomit des Risserkogelgebietes Spuren von Fossilien nicht entdecken, „im oberen, 70—80 m unter dem Plattenkalk, fanden sich . . . terebratel- und korallenähnliche Fossilreste aus Kalkspat. Die Korallen dürften der äußeren Form nach vielleicht zu den kleinen Varietäten der Gattung *Thecosmitia* zu zählen sein. Die Korrosion der Fossilien ist jedoch zu groß, als daß sich Genaueres erkennen ließe“.

Schließlich enthalten die Erläuterungen zu den Blättern Tegernsee (1926, S. 9) und Schliersee (1927, S. 9) folgende Angabe: „selten findet sich ein *Megalodus* oder eine *Holopella*“.

Die erste lithogenetische Auswertung von Fossilfunden gab LEUCHS (1928, S. 421 ff.) anlässlich seiner Funde von Foraminiferen (*Globigerina* und vielleicht *Biloculina*) im unteren Hauptdolomit der Lechtaler Alpen. Die stratigraphische Lage des Fundpunktes veranlaßte LEUCHS zu der Annahme, daß der fossilführende Dolomit ein umgewandelter Tierbergkalk sei. Auf die lithogenetische Auswertung der Funde werde ich unten zurückkommen.

Im gleichen Jahre konnte ich nach Abschluß meiner Feldarbeiten von makroskopischen Fossilien im unteren und oberen Hauptdolomit des Karwendelvorgebirges berichten (1928, S. 292—294). Die eingehende Untersuchung des damals erwähnten Fundpunktes in den Kammlitenwänden ergab

außer dem sicheren Nachweis von *Megalodon* sp. im unteren Hauptdolomit folgende Tatsachen: Das sehr feinkörnige Einbettungsgestein ist außerordentlich reich an Foraminiferen, vorherrschend Globigerinen, deren Feinstruktur allerdings bei der Dolomitisierung verlorengegangen ist. Eine genauere Bestimmung war deswegen nicht möglich.

Die Untersuchung des ebenfalls dort erwähnten Fundpunktes vom Hirzeneck ergab die Möglichkeit, wenigstens zwei Spezies makroskopischer Fossilien zu bestimmen. Es fanden sich: *Turbo* (*Worthenia*) *solitaria* BEN. in zwei Stücken und *Cerithium jugale* v. AMMON in größerer Menge (15—20 Stück). Die übrigen, weniger gut erhaltenen Gastropodendurchschnitte waren z. T. unbestimmbar, einige konnten als *Trochus* sp. erkannt werden. Es ist kaum zweifelhaft, daß der Fundpunkt bei einer weiteren Ausbeutung noch reiches Material liefern wird. Mit dem Nachweis der beiden bestimmbareren Gastropoden sind die Funde AMMONS vom Plumser Joch der großen Unsicherheit entrückt, die ihnen nach seinen knappen Angaben anhaftete. Wichtig ist ferner die Bestätigung des Vorkommens von *Turbo solitaria*, der Leitform des südalpinen Hauptdolomits, in den Nordalpen.

Die Hohlraumwände der Steinkerne sind mit Dolomitekriställchen besetzt, die eine Erkennung der Schalenskulpturen erschweren. Eine genaue Bestimmung der vielen wohl erhaltenen (d. h. unzerbrochenen) Lamellibranchiatenreste wurde durch diese Art der Erhaltung unmöglich gemacht. Doch gelang es wenigstens, die Familien der Aviculiden, Mytiliden und Pectiniden durch sichere Vertreter nachzuweisen. Von den Brachiopoden wurde ein Abdruck einer Rhynchonellide mit starker Berippung gefunden. Von besonderem Interesse sind häufige ($\frac{1}{2}$ —1 cm lange) Ostrakodenschälchen. Eine Bestimmung der Schalenreste des Schills war unmöglich.

Manche Schnecken- und Muschelsteinkerne boten einen sonderbaren Anblick, sie waren nämlich von gewundenen, im Querschnitt kreisförmigen, 1 bis 3 mm breiten Gängen durchzogen, deren Wandungen ebenfalls mit Dolomitekriställchen bedeckt waren. In den Steinkernen der Schnecken machte der Gang jede Windung der Schneckenspirale mit, bei den Muscheln verlief die Röhre völlig unregelmäßig. Auch im umgebenden Sediment konnten die Gänge (oft mehrere Zentimeter lang) verfolgt werden. Dabei wurde zweimal eine T-förmige Verzweigung beobachtet. Bei der Frage nach der Entstehungsmöglichkeit dieser eigentümlichen Gebilde schalten mechanische Vorgänge (Gänge von Gasblasen oder Lösungserscheinungen) von vorneherein aus. Der notwendigerweise organogene Vorgang muß vor der Weglösung der ursprünglichen Muschel- oder Schneckenkalkschale, d. h. vor der Dolomitisierung erfolgt sein. Denn die gewundenen Röhren zeigen die Abhängigkeit von der Begrenzung durch die ursprüngliche Schale. Sie können also nur im frischen Sediment entstanden sein, und zwar durch ein Tier, das im Schlamm Gänge (wohl weniger zum Schutz als zur Nahrungssuche) anlegte; wahrscheinlich war also wohl ein Wurm der Täter.

Erwartungsgemäß war die mikroskopische Ausbeute recht groß, wenn auch stratigraphisch wertlos: Ostrakoden fanden sich in reicher Menge, vorzugsweise lagen- und nesterweise. Ihr Schalenhohlraum ist entweder mit Sediment oder mit Dolomitekriställchen ausgefüllt. In beiden Fällen ist eine nähere Bestimmung unmöglich. Noch häufiger sind Foraminiferen, von denen mit Sicherheit die Gattungen *Spirillina*, *Globigerina*, *Biloculina*, *Vaginulina*,

Rotalia und *Cornuspira* nachgewiesen wurden. Stabförmig gekammerte Stücke, Schalenfragmente von Muscheln und Ostrakoden und viele unbestimmbare Querschnitte lassen große Übereinstimmung mit dem von LEUCHS (1928, S. 423) beschriebenen Vorkommen erkennen und geben ein Bild von der reichen Kleinf fauna des norischen Meeres.

Diesen beiden Fossilfunden im Hauptdolomit kann ich heute eine Reihe weiterer Vorkommen hinzufügen:

Ein sehr feinkörniger, in den fossilreichsten Lagen rehbrauner Dolomit fand sich auf der Weichsel schneid (östliche Grenze des Gebietes) etwa 500 m über der Basis des Hauptdolomits. Schon makroskopisch konnten am frischen Bruch, besser noch an den angewitterten Stellen kreisförmige Querschnitte, Schalenbruchstücke usw. erkannt werden. Das mikroskopische Bild zeigte schon bei geringen (15—30mal) Vergrößerungen eine reiche Mikrofauna, vorherrschend Foraminiferen. Die Gattungen *Spirillina* und *Cornuspira* waren wieder am häufigsten und besten erhalten, weniger häufig waren *Rotalia* und *Globigerina*. Auffällig ist der relative Reichtum an Kalkalgen, die bis auf verschwindende Ausnahmen in kleinen Bruchstücken vorkamen. Vereinzelt fanden sich winzige, verzweigte Korallen(?)ästchen, Mikroschalenschill und öfter unbestimmbare Organismenreste.

In dem Hochwald westlich der Reißenden Lahn in etwa 1500 m liegt eine (mindestens 15 m) mächtige Konglomeratbank (s. u.). Die Komponenten bestehen aus Kalk und führen eine sehr reiche Mikrofauna und Schalenschill. Auch im Bindemittel, das stark bituminös und kalkhaltig ist, konnten Schalenrümmer, sogar kleine, geschlossene Doppelklappen von Zweischalern und Foraminiferen nachgewiesen werden. Der Fundpunkt gehört wohl schon dem oberen Hauptdolomit an, er liegt weniger als 200 m unter dem Plattenkalk.

Etwa in demselben Horizont fand sich ein ganz andersartiges reiches Vorkommen von Fossilien auf dem Grat Schöttelekarspitz—Gamschartel. Eine äußerst feinkörnige, dolomitische Grundmasse ist erfüllt mit organischem Detritus verschiedenster Art. Vorherrschend sind unzählige winzige Schalenbruchstücke, die einen wirren Mikroschill bilden. Dazwischen liegen bis zu 1 mm große, zum Teil zweikammerige kugelige Gebilde und Foraminiferen, eigentümlich gegitterte und gekammerte Bruchstücke und viele andere unbestimmbare organische Reste.

Nur sehr kümmerliche Reste führte ein Fundpunkt von der Schöttelekarspitz im oberen Hauptdolomit (oberste 200 m). Eine dickbankige, körnige Lage etwa 100 m unterhalb des Gipfels lieferte zwei unbestimmbare Schalenquerschnitte und in großer Menge schlecht-erhaltene kugelige Foraminiferen. Reicher war die Ausbeute in einem Dolomit aus etwa 1500 m südwestlich der Roßalm. Wieder ist die Gesteinstracht konglomeratisch, und im feinkörnigen Bindemittel liegen neben vielen kleinen Schalenstückchen Foraminiferen, unter denen die Gattungen *Nodosaria* und *Textularia* namhaft gemacht werden konnten.

Ein weiterer Fundpunkt ebenfalls im oberen Hauptdolomit (etwa 100 m unter dem hangenden Plattenkalk) ist am Wörnerkopf aufgeschlossen. Die fossilführende Bank ist nach ihrer petrographischen Ausbildung und nach ihrem faunistischen Inhalt dem Vorkommen von Hirzneck außerordentlich ähnlich. Die geringe Zerklüftung, die Zuckerkörnigkeit, die stellenweise rauhackentartige Tracht, die Wechsellagerung mit Konglomeraten und die Fossilierhaltung sind Anzeichen dafür, daß es sich um denselben stratigraphischen Horizont handelt. Der Fossilinhalt ist allerdings geringer: Schalenquerschnitte von Muscheln und Ostrakoden sind schon mit bloßem Auge sichtbar, unter dem Mikroskop erkennt man die Zusammensetzung des Sediments vorwiegend aus Mikroorganismen, unter denen wieder Foraminiferen vorherrschen: Die Gattungen *Cornuspira* und *Spirillina* überwiegen in der Häufigkeit und Größe, *Globigerina* und *Biloculina* sind bezeichnende Vertreter der übrigen Formen.

Ein letztes der neuen Fossilvorkommen liegt in den steilen Fernersbachwänden etwa 300 m unter dem Plattenkalk. Dort steht ein Konglomerat an, das aus weitgehend gerundeten Dolomittrümmern verschiedener Farbe besteht. Bezeichnend sind dunkle und gelblich-braune Dolomitbrocken (größter Durchmesser etwa 1 cm), die im Anschliff eine Zusammensetzung fast nur aus Foraminiferen und sonstiger Mikrofauna erkennen lassen. Zwischen den einzelnen Trümmern liegt reichlich feinkörniges dolomitisches Bindemittel mit spärlichen Fossilien: Schalenquerschnitten, Ostrakoden und wiederum Foraminiferen (*Textularia*, *Globigerina* usw.).

Zusammenfassung und Auswertung der Fossilfunde.

1. **Stratigraphische Stellung.** Von den neun Fundpunkten gehören zwei (Hirzeneck und Wörnerkopf) wahrscheinlich demselben Horizont (etwa 100 m unter dem Plattenkalk) an. Aus tieferen Horizonten des oberen Hauptdolomits stammen die Funde von der Schöttelkarspitz, Reißenden Lahn, Wörnerkopf und den Fermersbachwänden. Zum unteren Hauptdolomit gehören die fossilführenden Horizonte der Wechselschneid (etwa 500 m über der Basis) und der Kammleitenwände (innerhalb der untersten 200 m).

2. **Sediment.** Bezeichnend für sämtliche Funde ist die Feinkörnigkeit des Sediments, das stellenweise selbst bei 50facher Vergrößerung optisch noch nicht aufgelöst werden konnte. In jedem Fall handelt es sich um echten Dolomit (mit Ausnahme des kalkigen Konglomerates von der Reißenden Lahn [darüber s. u.]), der gelegentlich etwas tonhaltig sein kann. Der Hauptgrund für die teilweise vorzügliche Erhaltung der organischen Reste ist die geringe tektonische Beanspruchung.

3. **Die organischen Reste.** Es fanden sich Vertreter folgender Tiergruppen: Lamellibranchiaten, Gastropoden und Brachiopoden; Ostrakoden, Foraminiferen, Bruchstücke von Korallen (?), Wurmsspuren und viele unbestimmbare Reste. Der floristische Befund beschränkt sich auf Kalkalgen.

4. **Für die Erhaltung der Reste** ist bezeichnend das Fehlen aller Kalkschalen. Steinkernerhaltung ist deswegen die Regel, sekundäre Ausfüllung des Schalenhohlraumes mit Dolomitekriställchen kann eine ursprüngliche Schale vortäuschen.

5. **Bedeutung für die Entstehung des Hauptdolomits.** Sämtliche Fossilien sind ursprünglich kalkschalig gewesen. Sie sind abgelagert in einem vorwiegend aus kalkschaligen Foraminiferen und kalkigem Detritus aufgebauten Kalkschlick. Dieses Ergebnis ist gewonnen an Fossilfunden aus verschiedenen Horizonten des gesamten Hauptdolomits. Es darf mit der Wahrscheinlichkeit gerechnet werden, daß auch die übrige, diagenetisch stärker umgewandelte Masse des Dolomits zum größten Teil ähnlich entstanden ist. Die Meinungen, die im Hauptdolomit ein Riff sehen wollen, entbehren jeder Grundlage. Auch darin konnten meine Untersuchungen die von LEUCHS (1928, S. 421 bis 430) an spärlichem Material gewonnenen Ergebnisse bestätigen und auf größere regionale und vertikale Erstreckung ausdehnen. Die Stärke der Wasserbewegung war gering, wenn es zur Ablagerung des außerordentlich leicht beweglichen Foraminiferenschlicks (und der Bitumenmergel s. o.) kommen sollte. Stärkeren Strom (etwa 10—30 cm/sek) haben die Schill-Lagen zur Voraussetzung und die dickschaligen, z. T. zerbrochenen Megalodonten sprechen ebenso wie die Konglomeratlagen für erheblich größere Stromgeschwindigkeiten. Ueber das Wesen der Ströme (ob Gezeitenstrom, starker Seegang, sonstige Meeresströme) kann nichts ausgesagt werden.

Für die **Bildungstiefe** ergeben sich zwar auf Grund des Fossilinhalts keine sicheren Anhaltspunkte, doch sind die dickschaligen, zum Teil zerbrochenen Megalodonten und der verbreitete Schalenschill weitere Anzeichen für die Flachsee(Schelf-)natur des norischen Meeres. Beweise für vorübergehende Trockenlegung fehlen.

Konglomerate im Hauptdolomit.

a) Bisher bekannte Vorkommen.

CLARK (1887, S. 11) erwähnt zum ersten Male normalem Hauptdolomit konkordant eingeschaltete Konglomerate (aus der Achenseegegend). „Sehr häufig finden sich dünne Schichten von Trümmerbreccien, die mit feinkörnigem, kompaktem Dolomit wechsellagern.“

LEUCHS hat 1928 (S. 411—413) eine Konglomeratbank aus dem Lechbett bei Füssen beschrieben, die ebenfalls normalem Hauptdolomit konkordant eingeschaltet ist. Meist eckige Dolomit- und Kalksteintrümmer sowie kleine Quarzkörnchen liegen in kalkigem Bindemittel. Die Herkunft der Quarzkörner ist unsicher, die übrigen weit vorherrschenden Dolomit- und Kalktrümmer werden älteren Lagen des Hauptdolomits zugesprochen.

Ein zweites Konglomerat (ibid. S. 413—414) stammt aus den Allgäuer Hochalpen und besteht aus unregelmäßigen großen Quarzkörnern unbestimmter Herkunft.

b) Neue Funde aus dem Karwendelvorgebirge.

Hier sind Konglomeratlagen aus allen Abteilungen des Hauptdolomits keine Seltenheit. Naturgemäß bieten die tektonisch gering beanspruchten Zonen ihrer Erkennung am wenigsten Schwierigkeiten. Sie fehlen aber keineswegs (besonders wenn sie durch Größe und Farbe ihrer Komponenten ins Auge springen) dem völlig zerklüfteten Hauptdolomit. Die große Zahl der Fundpunkte verbietet eine eingehende Beschreibung jedes einzelnen Vorkommens. Es seien deswegen nur die wichtigsten stichwortartig aufgezählt und dann ihre gemeinsamen oder abweichenden Eigenschaften zusammengestellt.

Untere Abteilung des Hauptdolomits:

Fundort: Wechselschneid. 300—500 m über der Basis. Mächtigkeit bis $\frac{1}{2}$ m. Korngröße höchstens 2 cm Φ , Komponenten: (zum Teil Mikrofauna führender) Hauptdolomit, unvollkommen gerundet; Bindemittel dolomitisch mit Foraminiferen, Schalenbruchstücken usw. Schichtung nicht erkennbar. Lagerung: konkordant normalem und fossilführendem (s. o.) Hauptdolomit eingeschaltet.

Fundort: Wände südlich Hochlandhütte. Mächtigkeit unbestimmt. Korngröße höchstens 1 cm. Komponenten: dunkle, Mikrofauna führende Dolomite, unvollkommen gerundet. Bindemittel sehr tonig (möglicherweise mit Foraminiferen). Scherbige Trümmer liegen in der Schichtebene. Lagerung: konkordant normalem Hauptdolomit eingeschaltet.

Fundort: Hochwald westlich Reißender Lahn in etwa 1500 m Höhe. Gesamtmächtigkeit über 15 m. Komponenten: Kalkbrocken, Korngröße bis mehrere cm Φ gut gerundet, oft mit Schalenschill und reicher Mikrofauna. Bindemittel tonig-kalkig, sehr bituminös, mit Schalenresten und Foraminiferen. Schichtung nicht erkennbar.

Obere Abteilung des Hauptdolomits:

Fundort: Nördlich Hochlandhütte. Korngröße höchstens 1 cm Φ . Komponenten: dunkle Dolomite. Unvollkommen gerundet. Bindemittel: Dolomit. Lagerung konkordant normalem Hauptdolomit eingeschaltet.

Fundort: Südwestlich Wörnerkopf zwischen 1800 und 1900 m. Korngröße oft mehrere cm Φ . Komponenten: unvollkommen gerundete, helle und dunkle Dolomite. Bindemittel feinkörniger Dolomit. Ungeschichtet. Lagerung konkordant normalem Hauptdolomit.

Fundort: Grat nördlich Schöttelkarispitz. Komponenten: meist dunkle Dolomite bis 2 cm Φ , sehr unvollkommen gerundet. Bindemittel sehr feinkörniger Dolomit. Schichtung nicht erkennbar. Ein ganz ähnliches Vorkommen liegt in den Ostwänden der Schöttelkarispitz. Möglicherweise handelt es sich um denselben Horizont.

Fundort: Schöttelkarispitz. Normalem, feinkörnigem, aber tektonisch kaum gestörtem Hauptdolomit sind Konglomeratbänkchen wechselnder Mächtigkeit (bis 5 cm) eingeschaltet. Komponenten: helle und dunkle, sehr verschiedenartige Dolomite. Ein Binde-

mittel (Dolomit) kann fehlen. Deutlich schichtweise Anordnung. Stellenweise ist es nicht ganz zur Ausbildung von Konglomeraten gekommen, dann schalten sich dünne Schichten von Dolomitsand ein (s. Abb. 17).

Fundort: *Hirzeneck*, eng verbunden mit dem fossilführenden Dolomit (s. o.). Komponenten: vorwiegend dünnplattige (bis 5 cm lange), scharf begrenzte Scherben heller und dunkler Dolomite, die in der Regel parallel zur Schichtung liegen. Nach oben und unten allmählicher Uebergang zu normalem Hauptdolomit. Diese Tatsache und das Vorkommen von wohl erhaltenen Fossilien (Schnecken, Muscheln, Foraminiferen usw.) zwischen den Trümmern, noch mehr aber unversehrte kompakte Dolomitschichten gleicher Mächtigkeit und Ausbildung lassen an der primären Entstehung dieses Konglomerates keinen Zweifel. LEUCHS (1928, S. 401—406) gibt Beschreibung und Abbildung ganz ähnlicher Dinge aus dem Wettersteinkalk der Arnsperze bei Seefeld, die er als tektonische Breccie erklärt. Aus dem Plattenkalk habe ich Stücke, deren Übereinstimmung mit diesen „endogenen Breccien“ so verblüffend ist, daß man an eine analoge Entstehung denken muß. Davon wird bei der Besprechung des Plattenkalks noch die Rede sein.

In den vorderen Kammleitewänden findet sich ein übereinstimmendes Vorkommen (obwohl einem anderen Horizonte angehörend), bei dem plattige, ausschließlich hellere Scherben vollkommen parallel zur Schichtung in einem Bindemittel von bräunlichem, körnigem Dolomit schwimmen. Auch hier ist die Abhängigkeit von unversehrten dünnen Bänken des Liegenden sogar im Handstück nicht zu übersehen.

Drei weitere, ebenfalls dem oberen Hauptdolomit zugehörnde Konglomerate sind anlässlich ihres Fossilinhalts oben beschrieben worden.

Als stratigraphisch oberste Konglomeratlage stellt sich etwa 10—20 m unter dem Plattenkalk am *Hirzeneck* eine fast $\frac{1}{2}$ m mächtige Konglomeratbank ein. Ihre Komponenten erreichen Größen bis zu 4 cm Φ und bestehen nur aus Dolomit, der von dem Bindemittel kaum zu unterscheiden ist. Die Trümmer sind recht unvollkommen gerundet, sehr oft geradezu scharfkantig. Sichere Fossilreste konnten nicht nachgewiesen werden.

Zusammenfassung: In den verschiedensten stratigraphischen Horizonten sind dem Hauptdolomit Konglomeratlagen konkordant eingeschaltet, die vorwiegend aus Hauptdolomittrümmern zusammengesetzt, also monomikt sind (wir wollen damit nur einen Zustand, nicht die Art der Genese [wie CORNELIUS, 1927, S. 120] bezeichnen. Denn hierin [monomikt = tektonisch, polymikt = sedimentär entstanden] kann ich mich CORNELIUS nicht anschließen. S. u.) Quarz oder gar zentralalpine Gesteine fehlen, ebenso Gerölle, die man notwendig einer anderen Formation zurechnen müßte. Der häufige Fossilgehalt spricht ebenfalls nicht mehr gegen eine Herkunft aus tieferen Hauptdolomit-horizonten. Daß die organischen Reste gerade in den konglomeratischen Bänken (in den Trümmern wie im Bindemittel) guterhalten blieben, hat zwei Gründe. Einmal werden die festen Bänke tektonisch viel geringer beansprucht worden sein, vor allem aber verhinderte der häufige Ton- und Bitumengehalt des Bindemittels eine vollständige Dolomitierung, bei der die Feinstrukturen verlorengegangen wären. (Ein treffendes Beispiel hierfür, zugleich aber auch für die primär kalkige Natur des Hauptdolomits bietet die außerordentlich mächtige (bis 15 m), stark bituminöse Konglomeratbank westlich der Reißenden Lahn, deren Komponenten ausnahmslos, das Bindemittel größtenteils kalkig sind. Wir würden also in diesen Konglomerattrümmern Reste des ursprünglichen nicht dolomitisierten Sediments vor uns haben.) Eine schichtweise Anordnung der Konglomerate fehlt häufig. Die Korngröße und das Maß der Abrollung ist innerhalb ein und desselben Horizontes recht konstant, schwankt aber außerordentlich beim Vergleich der einzelnen Bänke untereinander.

c) Folgerungen.

Sämtliche beschriebenen Konglomeratbänke sind sedimentärer Entstehung: bereits verfestigter älterer Kalkschlick wurde irgendwo abgetragen und gelangte aus der „Aufbereitungs- in die Sedimentationszone“.

Das transportierende Medium ist bewegtes Wasser, entweder in Form submariner Strömungen, deren Richtung und Intensität gewechselt haben muß, oder in Form von Grundseen. In jedem Fall kann es zur Bildung monomikter und trotzdem (s. o. und CORNELIUS 1927) sedimentärer Konglomerate kommen, wie ja auch Beobachtungen an rezenten Flachmeeren (RUD. RICHTER 1922—26) beweisen.

Solche Ereignisse können allmählich eingetreten sein (Übergänge zwischen normalem Sediment und Konglomerat) oder plötzlich (scharfe Grenze). Die normale Sedimentation kann auch während der Ablagerung des Konglomerates weiter gehen (mehr oder weniger Bindemittel und Fossilien), sie kann aber auch an dieser Stelle (vielleicht wegen des zu starken Stromes) aufhören (kein Bindemittel zwischen den Trümmern). Die Vorgänge sind zu verschiedenen Zeiten (verschiedene stratigraphische Horizonte), an verschiedenen Stellen (verschiedene regionale Verbreitung) mit verschiedener Stärke und Dauer (verschiedene Mächtigkeit der Bänke und verschiedene Größe und Abrollung der Komponenten) erfolgt. Der Ablagerungsraum kann sehr weit vom Abtragungsraum entfernt liegen (völlig gerundete Bestandteile), er kann in der Nähe liegen (unvollkommen gerundete Bestandteile) und schließlich (als äußerst seltener, praktisch vielleicht durch Grundseen verwirklichter Fall) kann er an derselben Stelle liegen (scharfkantige Bestandteile). Die Stärke der Abrundung ist aber auch abhängig von dem Grad der Verfestigung der Gerölle, ihrem Material, der Art des Untergrundes usw.

Schichtungslosigkeit spricht dafür, daß die Ablagerung des Konglomerates sehr rasch als einmaliger Vorgang (Grundseen oder starker Strom) stattfand. Hierbei würde naturgemäß eine vollständige Aufbereitung (Sortierung nach der Korngröße oder dem Gewicht) kaum eintreten können.

Zusammenfassung: Die Konglomeratlagen beweisen eine Aufarbeitung verfestigten älteren Hauptdolomitsediments. Hierfür ist Trockenlegung (als Folge epirogener Bewegungen) nicht erforderlich. Vielmehr können (in heutigen Flachmeeren beobachtet!) ohne tektonische Bewegungen durch submarinen Abtrag (Strömungen, Grundseen usw.) Konglomerate in gleichaltrigem Sediment entstehen. Sie sind weitere Anzeichen für die neritische Natur der norischen Sedimente, ohne jedoch an Küstennähe gebunden zu sein.

Viele Autoren sehen in den Konglomeraten das Abbild tektonischer Bewegungen. Für ein Konglomerat aus dem Hauptdolomit hat es LEUCHS (1928, S. 412—413) angenommen. BRINKMANN (1926, S. 202) konnte bei seinen ausgedehnten Untersuchungen im englischen Dogger sogar fast sämtliche fazielle Eigenheiten dieser marinen Schichtreihe (z. B. Wechsel des Sediments [Ton, Sand, Konglomerate, Muschelschill usw.] oder gar Schichtung) auf tektonische Bewegungen des Meeresbodens (submarine Undationen) zurückführen, die ihn zu einer bis ins einzelste gehenden tektonischen Analyse führten. Hier standen allerdings größere Profilreihen (vom Beckenrand zum Beckeninnern) zur Verfügung, die den regelmäßigen Wechsel des Aufbaus und der Eigenschaften der Ablagerungen in waagerechter und senkrechter Richtung zu verfolgen gestatteten. In meinem Gebiet fehlen zwingende Gründe zur Annahme tektonischer Bewegungen als Ursache der Konglomeratbildung. Gegen tektonische Entstehung spricht die einheitliche Zusammensetzung aus ortseigenem Material und die linsenhafte, geringe und regellose Ausdehnung der Konglomerate.

Diskordante Paralleltextr.

Die Konglomeratlagen wurden soeben durch submarine Strömungen erklärt, die mit verschiedener Geschwindigkeit und Stärke in verschiedenen Richtungen an verschiedenen Zeiten und Orten erfolgen. Daß und wie im Bereich solcher durch Strömung geschaffener Rinnen Kreuzschichtung entsteht, ist in heutigen Gezeitenmeeren nachgewiesen worden (RUD. RICHTER und TRUSHEIM), allerdings vorerst nur für den Auftauchbereich. Es kann jedoch keinem Zweifel unterliegen, daß auf gleiche Weise auch submarin Schrägschichtung entsteht. Diskordante Paralleltextr ist also keineswegs ein Beweis weder für Landnähe (wir kennen heute bereits Schrägschichtung mehr als 10 km von der Küste entfernt), noch für eine bestimmte Höhenlage, sondern nur ein Anzeichen für wandernde, durch Strömung entstandene Rinnen.

War die Erklärung für die Entstehung der Konglomeratbänke richtig, so mußten sich auch innerhalb des Hauptdolomits größere Bezirke von Schrägschichtung finden lassen. Tatsächlich konnte ich im Bärnbachbett in etwa 1180 m Höhe eine Bank diskordanter Paralleltextr nachweisen, die fast $\frac{1}{2}$ m Mächtigkeit erreicht (siehe Abb. 16). Eine stark bituminöse, dunkle Dolomitbank wird diskordant überlagert von wechsellagernden helleren und dunkleren Dolomitschichten, die mit der dunklen Bank einen Winkel von 10 bis 12 Grad bilden.

Eine andere, weniger mächtige, schrägschichtete Bank steht unterhalb des Gipfels der Schöttelkarspitz an. Wiederum wechsellagern helle mit dunkleren Dolomiten, in denen selbst noch Feinschichtung zu erkennen ist. Die maximalen Böschungswinkel erreichen 25 Grad. Auch im Hauptdolomit des östlichen Soiernkessels und vom Hirzneck fanden sich bis zu 25 Grad schrägschichtete Lagen.

Nicht immer ist die diskordante Paralleltextr so gut erkennbar und in die Augen springend wie auf Abbildung 16; dann nämlich nicht, wenn kein Sedimentwechsel statthatte. In solchen Fällen erleichtern gelegentlich die angewitterte Oberfläche oder eingedrungene färbende (Eisen-)Lösungen die Erkennung. Man kann dann verstehen, daß solche Erscheinungen so lange unbekannt blieben.

Ganz analoge Verhältnisse bietet der Plattenkalk, bei dessen Besprechung ich darauf zurückkommen werde.

Die Lithogenesis des Hauptdolomits

würde nach diesen Untersuchungen etwa folgendes Bild ergeben:

Das Hauptdolomitmeer der bayerisch-nordtiroler Fazies war ein Flachmeer. Im Norden lag (rotes Material lieferndes) Festland. Das Sediment war Kalkschlick vorwiegend organogener Herkunft, teilweise Foraminiferenschlick. An den tiefsten Stellen, in Stillwasserlöchern und Kolken, wurden Sappelite abgelagert, die sich größtenteils aus Ton mit Pflanzenresten (Pollen, Mikrohäcksel usw.) und Plankton zusammensetzten. Die Fauna war artenarm und individuenreich und bestand vorwiegend aus Muscheln und Schnecken, nur die Fischfauna wies größere Mannigfaltigkeit auf.

Meeresströmungen, wohl auch gelegentlich stärkere Stürme, verursachten die Bildung von Schill-Lagen, kreuzgeschichteten und Konglomeratbänken. Die starke Verunreinigung des Wassers durch Detritus verhinderte die Riffbildung. Anzeichen für vorübergehende Trockenlegung fehlen.

Plattenkalk.

Allgemeines.

Die Verbreitung des Plattenkalks ist im Gebiet an zwei tektonische Bezirke gebunden, das Soierengebiet und die beiden Flügel der Kreidemulde. Der Plattenkalk der Muldenflügel ist (bei senkrechter Lagerung) etwa 150 bis 200 m mächtig. Auf dem Nordflügel ist er bis auf einen kleinen Rest im Nordosten des Gebietes ausgequetscht. Im Soierengebiet erreicht er viel größere regionale Ausdehnung bei vorwiegend flacher, ja oft söhligter Lagerung. Seine Mächtigkeit und Ausdehnung ist hier geringer als man bisher annahm. Es gelang nämlich der Nachweis, daß fast überall im Soiernkessel unter dem Plattenkalk noch der Hauptdolomit oft in größerer Mächtigkeit auflaucht, daß also der Plattenkalk der Soiern keinen einheitlichen Komplex (s. ROTHPLETZ 1888) darstellt (s. tektonischer Teil). Demgemäß erreicht seine Mächtigkeit höchstens 250 m.

Eine genaue Abgrenzung gegen den liegenden Hauptdolomit stößt im Gebiet auf Schwierigkeiten, wie sie bei der Mehrzahl der Plattenkalkvorkommen der bayerischen Alpen bestehen. Die Fossilarmut der norischen Stufe zwingt zu einer Trennung auf rein petrographischer Grundlage, die an sich keine Schwierigkeiten macht, da der Hauptdolomit in der Regel scharf gegen die erste Kalkbank absetzt. Darüber aber folgt eine Zone dauernder Wechsellagerung von oft 20—30 m mächtigen Kalk- und Dolomitbänken, die sich in keiner Weise von dem bezeichnenden Hauptdolomit oder Plattenkalk unterscheiden lassen. Diese Übergangszone ist selbst auf kurze Erstreckung außerordentlich unbeständig und veränderlich, wie es in der Natur einer sekundären Dolomitisierung liegt. Die Grenze Hauptdolomit—Plattenkalk ist also weder faziell noch faunistisch, sondern rein petrographisch begründet. Ich lege sie nach dem Vorbild von BODEN (1915) und OSSWALD (1924) an die Basis der ersten Kalkbank, mit der die wechsellagernde Serie beginnt.

Fauna.

Die in der Regel spärliche Fauna des Plattenkalkes zeigt nur im Soierengebiet größeren Arten- und Individuenreichtum: Am verbreitetsten sind Schalenschille von größerer Mächtigkeit, gegen die sogar die gesteinsbildenden *Megalodon*- und *Naticopsis*bänke zurücktreten. Die Gastropodengehäuse (besonders *Rissoa alpina*) bilden oft mit ihrer teilweisen Sedimentfüllung vorzügliche Kennzeichen zur Ermittlung des wahren Hangenden und Liegenden (fossile Wasserwaagen).

In den Kalken, vorwiegend der Soierngruppe, konnte ich folgende makroskopische Formen nachweisen:

Megalodon triqueter WULF.,
Avicula sp.,
Gervillia praecursor QUENST.,
Myophoria sp.,
Schizodus alpinus WINKLER,
Pinna sp. aff. *meriani* WINKLER,
Rissoa alpina GUMB.,
Naticopsis ornata SCHAEFER,
Turritella sp.

Die Erhaltung in den zwischengeschalteten Mergeln ist sehr viel schlechter; es fanden sich Vertreter der Gattungen: *Schizodus alpinus*, *Anomia*, *Avicula*, *Cardita*, *Turritella*, *Cerithium*.

Der Rest eines Fischgebisses aus denselben Mergeln von dem Westhang der Krapfenkarspitz gehört nach freundlicher Bestimmung durch Herrn Dr. WEITZEL zu *Mesodon* sp., ein einzelner Zahn im normalen Plattenkalk der Soiernspitz zu *Colobodus*. Damit ist die Fischfauna des Plattenkalkes um eine Gattung (*Mesodon*) vermehrt worden, die bisher nur aus dem Hauptdolomit bekannt war (s. GORJANOWIC-KRAMBERGER 1905). An Wirbeltierresten sind somit bis jetzt aus dem Plattenkalk der bayerisch-nordtiroler Fazies bekannt geworden:

durch GÜMBEL	1861 (S. 355)	<i>Psephoderma alpinum</i> ,
durch von AMMON	1878 (S. 53 und 54)	<i>Semionotus</i> sp., <i>Placodus Zitelli</i> GÜMB., <i>Sargodon tomicus</i> PLIEN.,
durch BÖHM	1910 (S. 717)	<i>Sargodon</i> (Zahn),
durch LEUCHS	1927 (S. 539—545)	<i>Plesiolepidotus dorsalis</i> (KNER) <i>Colobodus ornatus</i> ?
Dazu kommt mein Fund von		<i>Mesodon</i> sp. (Gebißrest) <i>Colobodus</i> sp. (Zahn).

Die Mikrofauna des Plattenkalkes — REUSS hat schon 1868 die älteren Foraminiferen-Funde der gesamten alpinen Trias zusammengestellt — ist bis jetzt noch so gut wie unbekannt, nur LEUCHS (1928, S. 423—425), der schon 1907 Foraminiferen aus dem Kaisergebirge erwähnte, konnte in einer Reihe von Plattenkalken (Eiberger Becken, Guffert-Pendling, Sonnwendgebirge) neben unbestimmbaren mikroorganischen Resten folgende Foraminiferengattungen nachweisen: *Globigerina*, *Textularia*, *Discorbina*, *Rotalia* (?) oder *Amphistegina* (?). Auch der Plattenkalk unseres Gebietes ist sehr reich an Mikro-Fossilien, unter denen ebenso wie im Hauptdolomit die Foraminiferen am besten erhalten sind. Ihre Häufigkeit nimmt schichtweise so stark zu, daß eine Bezeichnung des ursprünglichen Sediments als Foraminiferenschlick gerechtfertigt scheint. *Globigerina*, *Cornuspira*, *Textularia* und *Biloculina* sind wie im Hauptdolomit die häufigsten Gattungen.

Der floristische Inhalt des Plattenkalkes beschränkt sich auf Kalkalgen. *Sphaerocodium bornemanni* ROTHPL., von ROTHPLETZ (1891, S. 300) zum ersten Male im Plattenkalk gefunden, wurde von LEUCHS (1925, S. 5—8) an verschiedenen Stellen des nordalpinen Plattenkalkes nachgewiesen. Auch in meinem Gebiet sind derartige Gebilde keine Seltenheit. Ich fand sie am Wörnerkopf, am Hirzeneck und im Soierngebiet, wo sie bereits durch ROTHPLETZ bekannt geworden waren. Die mikroskopische und makroskopische Ausbildung meiner Funde stimmt mit den Abbildungen von ROTHPLETZ und G. WAGNER (1913, S. 153/154 und Tafel 8—10), ebenso aber mit den Stücken der LEUCHSschen Sammlung so völlig überein, daß einer Gleichstellung meiner Funde mit *Sphaerocodium bornemanni* ROTHPL. nichts im Wege steht. Allerdings kann ich mir Zweifel an der organischen Natur dieser Gebilde nicht versagen, da ich eine allseitige, konzentrisch-schalige Umkrustung von am Boden liegenden Fremdkörpern durch Algenwachstum nicht zu erklären vermag. Belanglos ist dabei die Frage, ob die Umkrustung an Ort und Stelle stattgefunden hat oder ob (wie in meinen Fällen) umkrustete Schalenreste und Fremdkörper zusammengeschwemmt worden sind. Die große Ähnlichkeit mit Oolithen (selbst G. WAGNER, der an der Algennatur der Sphärocodien nicht zweifelt, schreibt [S. 154]: „vielleicht bestehen enge genetische Beziehungen zwischen Sphärocodien und Oolithen; denn manchmal ist es nicht leicht, die Grenze zwischen kleinen Sphärocodien und großen

Oolithen zu ziehen“) veranlaßt mich, auch in den Sphärocodien, wenigstens was die konzentrisch-schaligen, zur Kugelform strebenden Gebilde anlangt, anorganische Gebilde zu sehen.

In jedem Fall kommt diesen Erscheinungen eine gewisse paläogeographische Bedeutung zu, seitdem WAGNER nachgewiesen hat, daß sie sich im germanischen Muschelkalkmeer nur an den Flachseerändern in guter Ausbildung und größerer Menge finden, während sie gegen das tiefere Beckeninnere immer „magerer“ werden und schließlich ganz verschwinden.

Petrographisch ist der Plattenkalk ebenso wie der Hauptdolomit keineswegs so gleichförmig, wie man lange angenommen hat.

Bituminöse Mergel.

Unter den Einschaltungen andersartiger Sedimente verdienen die Bitumenmergel wegen der großen Übereinstimmung mit denen des Hauptdolomits eine bevorzugte Besprechung. An mehreren Stellen des Soierengebietes (in den Nordabstürzen der Soiern- und Reißenden Lahnspez, am Westhang der Gumpenkarpspez, den Nordwänden der Krapfenkarpspez) treten in den untersten Lagen des Plattenkalkes geringmächtige Linsen feingeschichteter Bitumenmergel auf, die sich von denen des Hauptdolomits nur durch geringeren Bitumen- und größeren Kalkgehalt unterscheiden. Außerdem sind sie stellenweise recht fossilreich (Muscheln, Schnecken, Fischreste s. o.) und es fehlt ihnen die rhythmische Feinschichtung. Im übrigen aber stimmt die Ausbildung so völlig mit jenen überein, daß auf eine nochmalige Beschreibung verzichtet werden kann. Zu regelrechten Asphaltlagen ist es jedoch nirgends gekommen. Es kann wohl kaum zweifelhaft sein, daß auch die Bitumenmergel des Plattenkalkes analog denen des Hauptdolomits in Stillwasserkolken abgelagert worden sind. Zu dieser Annahme zwingen mich dieselben Gründe, die mich bei der Erklärung der Bitumenmergel des Hauptdolomits leiteten.

Konglomerate.

Die Konglomeratbänke zeigen große Übereinstimmung mit denen des Hauptdolomits. Wegen ihrer Häufigkeit¹⁾ beschränke ich mich auf eine kurze, stichwortartige Charakteristik der einzelnen Funde.

Fundort: J ä g e r s r u h. Mächtigkeit über $\frac{1}{2}$ m. Korngröße bis zu mehreren cm Φ . Komponenten gelbe (schwammige und feste) braune und schwarze Kalke, unvollkommen gerundet. Bindemittel: bituminös, etwas tonig, mit Schalenresten.

Fundort: F e l d e r n s c h n e i d. Mächtigkeit etwa 30 cm. Korngröße höchstens 1 cm Φ . Komponenten fast ausschließlich braune und schwarze, mehr oder weniger gerundete Kalke, dadurch im frischen Bruch und Anschlag feingesprenkeltes Aussehen. Im sehr tonigen Bindemittel selten Schalenfragmente, eine kleine, turmförmige Schnecke und Foraminiferen.

Fundort: W ö r n e r k o p f. Korngröße bis zu mehreren cm Φ . Hellgelbe, graue und viele dunkle Kalke ganz verschiedener Größe, die kleinen meist besser gerundet als die großen. Deutlich lagenweise Anordnung. Fast ohne Bindemittel.

Fundort: S o i e r n s c h n e i d. Dunkle Kalkbrocken von geringer (höchstens 1 cm Φ) Korngröße liegen vereinzelt mit Muschelschalenresten und ungewöhnlich häufigen, stellenweise zu förmlichen Ballen angehäuften Foraminiferen in braunem, kalkig-tonigem Bindemittel.

Fundort: S o i e r n s c h n e i d. Mächtigkeit 3—20 cm. Konglomeratlagen wechsellagern mit normalem, kalksandigem Sediment. Korngröße durchschnittlich $\frac{1}{2}$ cm Φ , gelegentlich bis zu 4 cm Φ . Komponenten: hellgelber oder weißer schwammiger Kalk, oft mit reicher

¹⁾ Fisher ist außer einer kleinen Notiz von NÜTH (1926, S. 434), der im Hochfellengebiet bis nußgroße, eckige Stückchen gelben und dunklen Kalkes fand, darüber nichts bekannt geworden.

Mikrofauna (Foraminiferen?). Innerhalb der Konglomeratlagen ist stellenweise wieder ruhige Sedimentation von bitumenreichen Kalksandschichten erfolgt. Manchmal hat vor der Ablagerung des Konglomerates, das dann an seiner Basis häufig Schalenreste enthält, eine Aufarbeitung des Untergrundes stattgefunden, der in solchen Fällen eine ganz unregelmäßige Oberfläche mit Vertiefungen von über 5 cm bildet. Mit der Zunahme des kalksandigen, kugelige Foraminiferen führenden Bindemittels nimmt die Größe der Komponenten ab, während der Grad der Abrollung zunimmt. Die Komponenten sind gegenüber der Verwitterung sehr wenig widerstandsfähig. Sie wittern deswegen leicht aus und geben dem Gestein ein löcheriges, rauchwackenähnliches Aussehen.

Fundort: Zwischen Kleinkarls spitz und Wörnerkopf. Mächtigkeit bis zu $\frac{1}{2}$ m. Das auffallendste Merkmal dieses Konglomerates ist die plattige Scherbenform seiner Komponenten (bis 10 cm lang), die in der Regel parallel zueinander und zur Schichtung liegen. Rundliche und unregelmäßig begrenzte Kalkbrocken liegen regellos zerstreut. Das Material der Komponenten ist hellgelber, äußerst feinkörniger, toniger, weißlich verwitternder Kalk. Das Bindemittel ist reich an unbestimmbaren organischen Resten und Schalenbruchstücken, wie sie auch in den Komponenten vorkommen. Beweisend für die sedimentäre Natur des Konglomerates ist neben der schichtigen Textur und dem Fossilinhalt des Bindemittels seine konkordante Einschaltung in normales Plattenkalksediment auf eine Erstreckung von mehreren hundert Metern. Nach Osten keilt das Konglomerat allmählich aus und hat am Wörnerkopf nur noch eine Mächtigkeit von 4 cm. Dort kann man im Handstück prachtvoll seine Einschaltung zwischen normales Sediment erkennen. Auch die Komponenten sind hier kleiner und das Bindemittel reicher an Fossilien (Muscheldurchschnitte und Foraminiferen).

Die Ausbildung stimmt so vollkommen mit einer von LEUCHS (1928, S. 401) aus dem Wettersteinkalk der Arnspitze bei Scharnitz beschriebenen Breccie überein, daß man die dort gegebenen Abbildungen geradezu als Illustration zu meinen Funden aus dem Plattenkalk verwenden möchte. LEUCHS nimmt für seine Breccie tektonische Entstehung als Dislokationsbreccie an. Seine ausführliche Beschreibung und die beiden Abbildungen bestärken mich jedoch in der Vermutung, daß es sich auch dort um eine sedimentäre Bildung analog denen aus dem Plattenkalk und dem Hauptdolomit (s. o.) handelt.

Zusammenfassung und Folgerung.

Die Größe der Komponenten ist also erheblichen Schwankungen ausgesetzt; ihr Material ist vorwiegend Plattenkalk, der ebenso wie das immer reichlich vorhandene Bindemittel meist fossilführend ist. Sehr schwankend ist der Grad der Abrollung. Lagenweise Anordnung ist bei den scherbigen Trümmern unschwer zu erkennen, den massigen Vorkommen fehlt häufig eine ausgesprochene Schichtung.

Die Konglomeratlagen des Plattenkalkes beweisen also eine Aufarbeitung verfestigter Sedimente der norischen Stufe. Die fakliche und genetische Uebereinstimmung mit den Konglomeraten des Hauptdolomits ist ein weiterer Beweis dafür, daß die Sedimentationsverhältnisse des Meeres keine wesentlichen Änderungen erfahren haben.

Diskordante Paralleltexur.

Die starke Wasserbewegung, die im Plattenkalk zur Bildung ausgedehnter Konglomeratbänke führte und dickschalige Megalodonten und groben Muschelschill an Leichenplätzen anhäufte, mußte, ebenso wie im Hauptdolomit, auch im normalen Sediment zu erkennen sein. Tatsächlich fanden sich Zeugen einer starken Aufbereitung des Untergrundes in großer Menge und Ausdehnung.

Eines der ausgedehntesten Vorkommen streicht rings um die Pyramide der Soiernspitz in wechselnder Höhenlage etwa 50 m über der ersten Dolomitbank zu Tage. Eine mehrere Meter mächtige Bank von sehr feinkörnigem Plattenkalk besteht aus ungemein wirr kreuzgeschichteten Lagen (s. Abb. 15), die durch ihren Farbunterschied besonders im Anschliff sehr gut hervortreten.

Das Sediment ist ein fast reiner Foraminiferenschlick, der vollständig aus kugeligen Organismen zusammengesetzt ist (bei einigen glaubte ich zwei konzentrische Schalen erkennen zu können). Die Kreuzschichtung ist wohl folgendermaßen zu erklären: in rhythmischem Wechsel lagerten sich dunklere und hellere Schichten ab, die ziemlich schnell so weit verfestigt wurden, daß sie bei einem Wechsel der Stromrichtung nicht mehr als Ganzes aufgewirbelt werden konnten, sondern nur bis zu einer gewissen, meist annähernd ebenen Diskordanzfläche abgetragen wurden. Darauf legten sich neue Schichten unter wechselndem Winkel (bis 35 Grad), die bei weiterer Stromverlagerung dasselbe Schicksal erlitten. Derartige wechselnde Stromrichtungen entstehen im Bereich wandelnder (pendelnder) Rinnen, wie Untersuchungen an heutigen Gezeitenmeeren ergeben haben (s. o.: diskordante Paralleltexur im Hauptdolomit).

In den Nordwänden der Soiernspitz oberhalb des östlichen Sees liegt ein ähnliches, geringermächtiges Vorkommen. Das Material besteht hier aus feinkörnigem Kalksand fast ohne organische Einschlüsse. In einer Mächtigkeit von etwa 4 cm liegt zwischen völlig horizontalen Schichten eine schräggeschichtete Bank, die mit diesen einen Winkel von etwa 12—15 Grad bildet.

An vielen anderen Stellen unseres Gebietes konnten ähnliche Erscheinungen nachgewiesen werden. Von den wichtigsten Fundpunkten mögen angeführt sein: Kleinkarlsplatz, Neulähler Kar und Krapfenkarplatz.

Sonstige Aufarbeitungsvorgänge.

Andere primäre Sedimentationserscheinungen führten zu Aufarbeitungsvorgängen und damit zur Bildung kleinerer Diskordanzen, wie man sie häufig in den oberen Abteilungen des Plattenkalkes findet. Man sieht dann im Querbruch gelegentlich, wie die Oberseite einer ursprünglich unversehrten Bank nach ihrer Ablagerung zum Teil wieder abgetragen wurde, wie unregelmäßige Löcher und Vertiefungen entstanden, die allmählich wieder ausgefüllt wurden. Diese Ausfüllung konnte bei sehr geringer Stromgeschwindigkeit vor sich gehen: dann legte sich Schicht für Schicht über alle Unebenheiten des Untergrundes bis zu einem maximalen (von Korngröße, Material, Wassergehalt, Stromgeschwindigkeit usw. abhängigen) Böschungswinkel. An den tiefsten Stellen waren die Schichten meist mächtiger, wodurch schließlich die Ausfüllung zustande kam. Oder aber der Strom konnte gerade so stark gewesen sein, daß er wohl die Ablagerung von Sediment am Boden, nicht aber an den beiden Hängen zuließ. Beide Möglichkeiten sind oft verwirklicht.

An anderen Stellen waren einzelne Schichten schon so weit verfestigt, daß sie unterspült wurden, dabei abbrachen und mehr oder weniger weit verfrachtet wurden. Alle Stadien dieses Vorganges sind häufig zu erkennen.

Der Plattenkalk der Soiern (besonders schön sind die Stücke vom Grat Soiernspitz—Reißende Lahnsplatz) bietet weiterhin vortreffliche Belege für alle die Aufarbeitungsvorgänge, die LEUCHS (1928, S. 417) aus dem Plattenkalk des Eiberger Beckens beschrieben hat; allerdings gelang es mir nicht, die dort erwähnte Fließtextur zu bestätigen, wohl aber konnte ich einige weitere Belege für die Zufuhr fremden Materials in fester Form bringen. Gar nicht so selten findet man nämlich einzelne, gewöhnlich gut gerundete, oft fossilreiche Plattenkalkbrocken inmitten feingeschichteten Sediments, die von der Strömung nicht herbeigeschafft sein können; denn ein Strom, der stark

genug ist, Brocken von mehreren Zentimetern Durchmesser zu bewegen, würde eine Ablagerung des äußerst feinen Kalkschlicks nicht zulassen. Einer gleichzeitigen Ablagerung durch gleiche Ursachen widerspricht aber auch eine andere Erscheinung: in den meisten Fällen kann man nämlich beobachten, daß der Kalkbrocken bei seinem Niedersinken die darunter liegenden Schichten gestaucht und zur Seite gepreßt hat, ja es kommt vor, daß über dem Geröll einfach mehrere Schichten durchschlagen sind, bevor der fremde Gesteinsbrocken zur Ruhe kam. Derartige „Einschußkanäle“ sind dann entweder von der Seite her durch Nachsacken der noch plastischen Schichten wieder geschlossen worden oder mit jüngerem Sediment erfüllt. Die ganzen Erscheinungsformen lassen keinen Zweifel darüber, daß diese Brocken mit ziemlicher Gewalt von oben her in weiches Sediment hineingefallen sind. Die Erklärung dieser eigentümlichen Erscheinungen muß sich auf Vermutungen beschränken. Die von LEUCHS (1928, S. 419) zur Deutung eines ähnlichen Falles herangezogenen submarinen Rutschungen können bei mir nicht verantwortlich gemacht werden. Denn einmal fehlt dem übrigen Sediment jedes Anzeichen von irgendwelcher Fließtextur, außerdem kann nach allem kein Zweifel sein, daß die betreffenden Kalkbrocken vor ihrem Einschlag frei gefallen sind. Die Vorbedingungen zu einem freien Fall vereinzelter Gesteinsbrocken sind jedoch nur in den verschiedenen Möglichkeiten passiver Verfrachtung verwirklicht: durch lebende oder tote Tiere oder wahrscheinlicher durch Genist mariner Pflanzen (Tange, Algen usw.), die ihre Fracht vielleicht im Seegange oder durch Verwesung ihres Transporteurs irgendwo verloren. Vielleicht ist die Erscheinung auch durch Grundseen als Folge starker Stürme zu erklären, die den Meeresboden weithin aufwirbelten und bereits erhärtete Schichtpakete zerbrachen. Beim Niedersinken würden dann die größeren Brocken schneller fallen und in weiches, geschichtetes Sediment eindringen, während die Masse des mitaufgewühlten Schlicks eine höhere, ungeschichtete Lage aufbauen könnte oder vielleicht wegen der starken Strömung an dieser Stelle überhaupt nicht zur Ablagerung käme.

An anderen Stellen findet man wohl einen „Einschußkanal“, es fehlt aber an seinem Ende der Fremdkörper, der ihn verursacht haben könnte. Spuren (Fuß- oder Flosseneindrücke) von wasserbewohnenden Wirbeltieren kommen wohl nicht in Frage, dagegen hinterlassen wirbellose Meerestiere zuweilen ähnliche Spuren. Man denke an die Spur von träge im Schlamm kriechenden Muscheln (wofür die oft bedeutende Längerstreckung spräche); auch Krebse, die irgendeiner Gefahr durch schnelles Einbuddeln in den weichen Schlick zu entgehen suchen, mögen solche Bildungen veranlassen. Vielleicht sind die kleinen Kanäle auch durch aufsteigende Gasblasen entstanden, nach deren Passieren das weiche Sediment von allen Seiten in den entstandenen Schacht einsackte, wodurch der Eindruck eines von oben eingedrungenen Fremdkörpers erweckt wird.

Oolithkalk sind auch in meinem Gebiete keine Seltenheit. Meine Funde (Kleinkarlsitz und Soiernspitz) stammen aus dem oberen Plattenkalk. Während die Oolithkalk der Soiernspitz ohne erkennbares Bindemittel und ohne Fossilreste ausschließlich von Oolithen aufgebaut sind, ist die Verteilung der Oolithe im festen Kalk der Kleinkarlsitz sehr unregelmäßig. In einem außerordentlich feinkörnigen Bindemittel, das neben Muschelschalenresten auch vereinzelte Foraminiferen führt, liegen die Oolithe in weiter, regelloser Streuung, manchmal zu Nestern angehäuft, ohne erkennbare Abhängigkeit von der Schich-

tung. Solche Oolithbänke sind schon von REIS (1911, S. 74) und OSSWALD (1929, S. 25 und 26) im Plattenkalk gefunden worden.

Bezeichnende Schichtglieder sind im Plattenkalk wie im Hauptdolomit die Sinterkalkc, feingeschichtete oder feinschalige, waagerechte, häufiger wellige, warzige oder traubige Kalkabsätze, die durch ihre helle Farbe und ihre lockere, poröse Tracht auffallen. Als einzige erkennbare organische Reste finden sich gelegentlich turmförmige Gastropoden auf den Schichtflächen. KALKOWSKY (Z. d. geol. Ges. 60, S. 125) und nach ihm REIS (1923, S. 121 ff.) haben für derartige Bildungen eine Entstehung durch niedere pflanzliche Organismen (Algen) nachweisen können. Obwohl die Feinstrukturen bei meinen Stücken infolge der Umkristallisation verlorengegangen sind, sprechen doch die völlig übereinstimmenden Erscheinungsformen für eine ähnliche Entstehung.

Das Lichtbedürfnis der die Sinterkalke aufbauenden Algen nötigt zur Annahme einer Flachwasserbildung. Lagerung und Gesteinsverband zwingen in meinem Falle allerdings zur Ablehnung des (nach REIS) wichtigsten Entstehungsortes derartiger Gebilde, der Spritz- (= Brandungs-) Zone.

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

Der Plattenkalk der bayerisch-nordtiroler Fazies ist eine Flachmeerablagung. Bezeichnendes terrigenes Material fehlt. In Stillwasserkolken wurden gelegentlich Sapropelite und Mergelschlamme abgelagert. Das Sediment war Kalkschlick, ebenfalls großenteils organogener Herkunft, teilweise reiner Foraminiferenschlick. Meeresströmungen verursachten die Bildung mächtiger Schillagen, Konglomerat- und kreuzgeschichteter Bänke. Die petrographische Übereinstimmung mit dem ursprünglichen Hauptdolomitsediment ist vollkommen, auch die Fauna schließt sich größtenteils der norischen an, lediglich in den obersten Bänken erscheinen typische Rhätformen. Der Plattenkalk gehört also faunistisch und petrographisch fast völlig zum Hauptdolomit, nur die oberste Abteilung ist ein „Übergangsglied“, eine „norisch-rhätische Grenzstufe“, wie es v. AMMON (1878) und NÖTH (1926, S. 435) (allerdings für den gesamten Plattenkalk) angenommen haben.

R h ä t i s c h e S t u f e.

Kössener Schichten.

Die Verbreitung der Kössener Schichten (und nunmehr sämtlicher jüngerer Schichtglieder bis zum Neokom) ist an die Mittenwalder Karwendelmulde gebunden, auf deren beiden Flügeln sie in saigerer Stellung 20—150 m Mächtigkeit erreicht.

Auch in meinem Gebiet besitzt die Fauna den bekannten Arten- und Individuenreichtum, wie er in den schon von ROTHPLETZ angegebenen Fundpunkten (Marmorgraben, Kleinkarl, Vereinsalp) anzutreffen ist. Nicht weniger reich sind die neuerschlossenen Fundpunkte nordwestlich vom Wörnerkopf, südlich der Reißenden Lahnspitz und im Bett des Fermersbaches bei der Brandelalm, wohl dem schönsten und übersichtlichsten Aufschluß der gesamten Mulde.

Von diesen Stellen stammen die Aufsammlungen, die keinen Anspruch auf Vollständigkeit machen wollen.

Brachiopoden:

<i>Spirigera oxycolpos</i> EMMR.,	<i>Spiriferina austriaca</i> (SUESS),
<i>Rhynchonella fissicostata</i> SUESS,	„ <i>suessi</i> WINKL.,
„ <i>subrimosa</i> (SCHAFH.),	<i>Terebratula gregaria</i> SUESS,
„ sp.,	„ <i>pyriformis</i> SUESS,
<i>Retzia superba</i> SUESS,	„ sp.

Lamellibranchiaten:

<i>Avicula contorta</i> PORTL.,
„ sp.,
<i>Gervillia inflata</i> SCHAFH.,
<i>Myophoria</i> sp.,
<i>Cassianella escheri</i> MERIAN,
„ sp.,
<i>Modiola schafhäutli</i> STUR,
„ <i>gregaria</i> STOPP.,
<i>Mytilus minutus</i> GOLDF.,
<i>Cardita austriaca</i> HAU.,
<i>Lucina alpina</i> ,
<i>Pecten</i> sp.,
<i>Lima</i> sp.,
<i>Halobia</i> sp.,
<i>Nucula</i> sp. aff. <i>strigillata</i> GOLDF.,
<i>Plicatula intusstriata</i> EMMR.

Gastropoden:

<i>Turritella</i> sp.,
<i>Natica</i> sp.,
<i>Rissoa</i> -ähnliche Schnecken.

Cephalopoden:

<i>Choristoceras rhäticum</i> GUEMB.,
„ <i>ammonitifforme</i> GUEMB.,
„ <i>tortilifforme</i> GUEMB.,
„ <i>haueri</i> MOJS.

Sonstige Tiergruppen:

Korallen:	<i>Thecosmilia clathrata</i> EMMR.,
Würmer:	<i>Serpula</i> sp. (auf der Außenseite der Riffe und auf Muschelschalen),
Wirbeltiere:	<i>Sargodon fomicus</i> PLIEN. (isolierter Zahn).

Vereinzelte unbestimmbare inkohlte Pflanzenreste kommen in den *Choristoceras*-Mergeln nicht selten vor. OSSWALD (1925, S. 124) hat im Oberrhät des Risserkogelgebietes sogar mehrere dünne Kohlenflözchen gefunden.

Würde man nunmehr auf Grund der petrographischen und faunistischen Ausbildung der Kössener Schichten die Zugehörigkeit zu dem einen oder andern Faziesgebiet (SUESS und MOJSISOVICS) zu bestimmen versuchen, so könnte man ohne Schwierigkeiten bezeichnende Vertreter der schwäbischen, karpathischen, Kössener und Salzburger Fazies finden. Allerdings ist ein räumlicher oder zeitlicher Zusammenhang selbst in einem kleinen Gebiet nicht zu erkennen, weil sich immer die linsenhafte Ausbildung vieler Kalke und Mergel nachweisen läßt, wenn sich die Beobachtungen nur einmal auf eine größere Aufschlußreihe fortsetzen.

Denselben vielfachen Wechsel und „keine Spur von Gesetzmäßigkeit“ erkannten schon DITTMAR (1864, S. 46) und ROTHPLETZ (1888, S. 27) im ganzen Karwendel, und von jüngeren Arbeiten sei nur OSSWALD (1925, S. 127) erwähnt, der nachwies, daß im Risserkogelgebiet die verschiedenen Fazies in veränderter, ja geradezu in umgekehrter zeitlicher Folge vorkommen. Ich kann mich nach alledem nur den gewichtigen Gründen von ZUGMAYER (1882, S. 3 und 4) gegen die Einteilung der rhätischen Stufe in verschiedene zeitlich festgelegte Fazies anschließen.

Einen solchen Befund machte ja auch von vornherein der längst allgemein anerkannte Flachseecharakter des rhätischen Meeres wahrscheinlich, dessen einzelne Becken (vielleicht infolge von Auswirkungen der altkimmerischen Phase [s. LEUCHS 1928, S. 74]) unter verschiedene äußere Einflüsse und in verschiedene Tiefen mit verschiedener Sedimentation und Fauna gerieten.

Der Fossilreichtum ermöglicht vorzüglich bisher in den Alpen vernachlässigte Beobachtungen über Lebens- und Todsgemeinschaften, verschiedene Einbettungs-, Verfrachtungs- und Aufarbeitungsvorgänge, wie sie durch Beobachtungen an rezentem Material (RUD. RICHTER, WEIGELT, WASMUND) bekanntgeworden sind.

Die häufigen Muschelpflaster geben Schulbeispiele für die stabile Lage „Wölbung oben“, aber auch in den dichten Kalken, ja sogar in den wirren Schalenschillen ist diese Anordnung in der Regel unverkennbar. Sie leistet bei gestörter Lagerung wertvolle Dienste zur Erkennung des wahren Hangenden und Liegenden. Darüber hinaus kann man an eingesteuerten, langgestreckten Schalen (besonders der Mytilidenpflaster) gelegentlich sogar die Stromrichtung erkennen.

Auffällig und weitverbreitet ist die Tatsache, daß viele Muschelpflaster aus den Schalen nur einer einzigen Gattung oder gar Art bestehen. Es kann sich dabei nur um eine Frachtsortierung nach Formwiderstand, Gewicht usw. handeln, ohne ein Lebensoptimum der betreffenden Art zur Voraussetzung zu haben.

In Ausnahmefällen kann dann die Transportsortierung sogar zu einer Trennung der beiden Schalen desselben Individuums führen (s. RUD. RICHTER 1922, S. 127, und 1924, S. 157). Am häufigsten ist dieser Fall naturgemäß bei solchen Muscheln verwirklicht, die mit einer Schale festwachsen. Die ursprüngliche Oberseite des Thescosmilienriffes ist an manchen Stellen nach dem Absterben der Korallen von mehreren Generationen von *Plicatula intusstriata* dicht besiedelt gewesen. Jedesmal, wenn ein Individuum oder die ganze Generation abstarb und der Weichkörper verweste, blieben die festgewachsenen (rechten) Klappen in situ, während die beweglichen (linken) Klappen ein Spielball der Strömungen wurden. Das gleiche trat ein, wenn die Muschelsiedlung von Feinden (bekannt sind die häufigen Reste von muschelfressenden Fischen und Reptilien: *Placodus*, *Placochelys* usw.) heimgesucht wurde oder in ungünstige Lebensbedingungen geriet. In kleinerem Maßstabe kann man dieselbe Erscheinung an den kleinen, auf anderen Muschelschalen festsetzenden Austern erkennen.

Spuren eines Transportes sind sehr vielen Muscheln, Brachiopoden und Schneckengehäusen anzusehen, in seltenen Fällen ist die Berippung der kugeligen Rhynchonelliden derart abgescheuert, daß eine Erkennung des Gebildes Schwierigkeiten macht.

Als Besonderheiten der petrographischen Ausbildung fanden sich an zwei Stellen unseres Gebietes (südlich Reißende Lahnspitz und im Fermersbach [Nordflügel]) ziegelrote, fette, fossilarme Mergel im Hangenden der dunklen Kössener Mergel. Sie scheinen in ihrer stratigraphischen Stellung übereinzustimmen mit roten Mergeln, die NÖTH (1926, S. 436) aus dem Hochfelln-Hochkienberg-Gebiet beschrieben hat.

Auch Konglomerate fehlen nicht im Rhät des Gebietes. Sie sind ebenso wie die aus der norischen Stufe durch submarine Aufarbeitung des Untergrundes entstanden und deswegen vorwiegend monomikt, d. h. ihre Komponenten stammen sämtlich aus tieferen Schichtgliedern der rhätischen Stufe selbst. Ihre Mächtigkeit ist gering und erreicht höchstens mehrere Zentimeter, Horizontbeständigkeit konnte nirgends nachgewiesen werden. REIS (1924, S. 71) hat im Allgäu viel ausgedehntere Konglomerate (15—20 m mächtig auf eine Entfernung bis 200 m) beschrieben, deren kantengerundete Komponenten aus wenig verschiedenen Gesteinen der rhätischen Stufe und des Plattenkalkes stammen. REIS erklärt sie durch geringe Bodenbewegungen und darauffolgende Zertrümmerung älteren, bereits verfestigten Sediments. Daß derartige Bodenbewegungen auf größere regionale Erstreckung mit verschiedener Stärke gewirkt haben, beweist ein ähnliches Konglomerat, das LEUCHS (1928, S. 72

bis 75) aus der Gegend von Kufstein beschreibt. LEUCHS erinnert an die konglomeratische Ausbildung in der Berchtesgadener Fazies und dem Uebergangsbereich zwischen dieser und dem bayerisch-nordtiroler Faziesbezirk, wo das ganze Rhät (nach HAHN) stellenweise als Konglomerat von 100—175 m Mächtigkeit ausgebildet ist. Er sieht in diesen Konglomeraten Beweise für Hebungen (verschiedener Stärke und Ausdehnung) in der altkimmerischen Phase zwischen Norikum und Rhät.

Unter diesem Gesichtswinkel gewinnt eine Angabe von REISER (1920, S. 82) an Interesse, der im Allgäu Quarzsand und Glimmerblättchen, ja sogar Sandsteine in den Kössener Schichten nachwies.

Jura.

Lias.

Der Lias ist eines der zuverlässigsten und am leichtesten erkennbaren Schichtglieder der Mulde. Die schmutzig-roten Mergel und die roten und gelben Kalke des untersten Lias vom Marmorgraben, die roten und weißen Crinoidenkalke der Hierlatzfazies, die weißen Spatkalke, die tiefroten Mergelschiefer und Knollenkalke des oberen Lias verraten sich schon von weitem durch ihre lebhaften Farben. Die Gesamtmächtigkeit des Lias beträgt höchstens 50 m, oft weniger als 10 m.

Die stratigraphische Bearbeitung, die im Gebiet auf REIS, den Mitarbeiter an der ROTHPLETZschen Karte, zurückgeht, beschränkt sich auf das fossilreiche Liasvorkommen des Marmorgrabens. In der Tat gibt es außerdem im Gebiet nicht eine Stelle, an der der Lias auch nur annähernd in dieser Vollständigkeit ausgebildet ist: War im Marmorgraben der Nachweis von oberem, mittlerem und unterem Lias noch eben möglich, so scheiterte eine stratigraphische Horizontierung im übrigen Gebiet an dem starken Wechsel von Mächtigkeit und Ausbildung und der großen Fossilarmut. Noch größere Schwierigkeiten stehen einer petrographischen Bearbeitung im Wege, ist doch der Lias infolge seines häufigen Wechsels von sehr harten und widerstandsfähigen Kalken mit weicheren Mergelkalken Schauplatz tektonischer Störungen großen Stils, die durch die Ausquetschung weicherer Schichten den harten Kalken zu einer unberechtigten Vormachtstellung verhelfen. Ich kann deshalb auf eine Bearbeitung dieses undankbaren Objektes verzichten, zumal der Lias an vielen anderen Stellen des Faziesgebietes für derartige Untersuchungen viel geeigneter ist. Bestenfalls hätten doch nur wenig wertvolle, zusammenhanglos in der Luft hängende Teilergebnisse erzielt werden können.

Oberer Jura.

Allgemeines.

Unter diesem Namen werden die Ablagerungen zwischen Lias und Neokom zusammengefaßt, deren genaue stratigraphische Stellung wegen des Fehlens bezeichnender Leitformen bis heute noch unklar ist. Insbesondere fehlt noch jede Spur einer Fauna von Dogger und unterstem Malm (Transversarius-Zone). SCHRÖDER (1925, S. 272) hat für große Teile der nördlichen Kalkalpen wahrscheinlich machen können, daß die untersten Abteilungen der radiolarienreichen Aptychenschichten örtlich diese Schichtglieder mitvertreten mögen. „Diese Möglichkeit gibt lediglich einen Anhaltspunkt dafür, daß die für den obersten Jura charakteristische allgemeine Vertiefung des nord-

ostalpinen Meeresbeckens lokal bereits im mittleren Jura eingesetzt haben kann“, eine Annahme, zu der sich bereits NEUMAYR und nach ihm u. a. ROTHPLETZ (1888, S. 34 und 40) im Karwendel, WÄHNER (1903) im Sonnwendgebirge und KNAUER (1905, S. 92) im Herzogstandgebiet gezwungen sahen.

Im Gebiet läßt sich erst wieder der mittlere Malm der *Acanthicus*-Zone durch sichere Fossilfunde (*Aspidoceras acanthicum* und *Oppelia tenuilobata* im Marmorgraben) belegen. Ähnliche knollige, dickbankige rote Kalke, aber ohne bezeichnende Fossileinschlüsse, stehen im Bett des Fermersbaches südlich der Brandel-Alm an; auf dem Nordflügel der Mulde scheinen sie hier zu fehlen, allerdings ist der Lias dort nur 1—3 m mächtig.

Am verbreitetsten ist auch in unserem Gebiete die Aptychenkalkfazies, eine höchstens 60—100 m mächtige Serie hellgrauer, dünnplattiger Mergelkalke mit eingelagerten dunklen Hornsteinbänken und -linsen, die gegen das Neokom zu seltener werden. Für gelegentlich auftretende dünne Mergelhäute und -putzen konnte ich eine sekundäre Entstehung durch Auslaugungsdiagenese nachweisen, ein Vorgang, der häufig zu Styrolithenbildung geführt hat.

Eine speziellere Altersgliederung des gesamten oberen Jura wird sich vielleicht später mit Hilfe der Aptychen ermöglichen lassen. Da aber heute noch eine einwandfreie Bestimmung der Aptychen wegen der weiterstreuten und nicht immer zuverlässigen Literatur fast unmöglich ist, diese Schwierigkeiten aber in absehbarer Zeit durch die Monographie TRAUTH^s behoben sein werden, verschiebe ich eine Bearbeitung der Aptychen bis zu diesem erfolgversprechenden Zeitpunkt.

Seitdem die schon lange vermutete (ROTHPLETZ 1886, S. 66, NAUMANN, Geognosie 1888, Bd. 1, S. 521, und Bd. 2, S. 992, BODEN 1915, S. 209/10, 1923, S. 168/69) sekundäre Natur der Hornsteinlagen erwiesen ist (WINKLER 1925, SCHWARZ 1929 und HEINZ 1929), können sie als genetisch und zeitlich unabhängige Gesteine eine gesonderte Betrachtung erfahren.

Die Untersuchung der Mergelkalke in ihrer typischen Entwicklung ergab an einer sehr großen Reihe von Anschliffen folgendes Ergebnis: der außerordentlich feinkörnige, dichte Kalk ist frei von terrigenen Komponenten. Bezeichnend ist der mehr oder weniger große Gehalt an Radiolarien und in zweiter Linie Spongiennadeln, die der Untersuchung nicht entgehen, wenn ihr Kieselskelett erhalten geblieben ist. In den weitaus häufigsten Fällen aber ist der gesamte Kieselsäuregehalt der Organismen verschwunden (und in den Hornsteinlagen sekundär angereichert, s. u.). Dadurch wird eine Erkennung der Mikrofossilien sehr erschwert und nur mit besonderen Hilfsmitteln (ein längeres Durchfeuchten der angeschliffenen Fläche mit Wasser oder Tränken mit stark lichtbrechenden Medien genügt in den meisten Fällen) gelingt es, die „getarnten“ Fossilabdrücke sichtbar zu machen. An den Stellen allerdings, an denen sich die andernorts weggeführte Kieselsäure anreichert, also in den Hornsteinbänken, blieb der ursprüngliche Radiolarienreichtum des Kalkes oft erhalten und war hier aus optischen Gründen der Beobachtung viel leichter zugänglich als im Kalk. Diese dem Sediment eigenen, durch die zufällige Kieselsäureanreicherung konservierten Radiolarien gaben den Anlaß dazu, daß viele dieser Hornsteine fälschlich als Radiolarite sedimentärer Entstehung aufgefaßt wurden, eine Annahme, die zu unberechtigten Schlüssen geführt hat. Zweifellos ist jedoch die Häufigkeit der Radiolarien in den meisten dieser bezeichnenden Mergelkalke zusammen mit dem Fehlen von terrigenem Material ein Beweis für Ablagerung in relativ tiefem Meer (abyssische Tiefen

sind dazu nicht erforderlich) mit demgemäß recht langsamer Sedimentation (wenige Meter der unteren Aptychenkalke sind die Äquivalente vieler Hunderte von Metern Dogger- und unterer Malmschichten der Flachwasserfazies). Die Aptychen und äußerst seltene Ammonitenabdrücke, Rhyncholithen und Belemnitenrostren als einzige makroskopische Fossilreste sind wegen der pseudoplanktonischen Verfrachtungsmöglichkeit für die Frage der Meerestiefe belanglos. Doch sind seit GÜMBEL (1861, S. 509/10 und S. 864) immer wieder gewichtige Gründe namhaft gemacht worden, die als Beweis für eine erhebliche Vertiefung des alpinen Meeres zu dieser Zeit zu gelten haben.

Konglomerate des Oberjura.

Aber obwohl dieser Zustand die Regel war, fehlt es nicht an Anzeichen, die vertikale Bodenbewegungen großen Stiles beweisen, so daß auf mehr oder weniger große regionale Erstreckung bezeichnende Flachmeersedimente zur Ablagerung kamen. LEUCHS hat 1927 die wichtigsten Funde klastischen terrigenen Materials aus den nördlichen Kalkalpen zusammengestellt. Ich kann diese Übersicht durch eine Reihe weiterer Literaturangaben sowie einige neue Belege aus meinem Gebiet vervollständigen:

Im Allgäu fand REISER (1920, S. 130) an der Basis der Radiolariengesteine über den Fleckenmergeln mehrere einige Fuß dicke Bänke von rotem Sandstein, dessen genaue stratigraphische Stellung noch unsicher ist.

Mit Sicherheit Aptychenkalken konkordant eingelagert ist ein Konglomerat, das CORNELIUS (1921, S. 60 und 61) vom Nordabhang des Imberger Horns im Allgäu beschreibt: eckige Kalktrümmer liegen mit Glimmerschuppen und vielen Aptychenresten zusammen in einem dunkelroten, flaserigen Kalkzement.

In derselben Gegend fand REIS (1924, S. 72) ein ganz ähnliches Konglomerat (abgerollte Bruchstücke eines hellen Kalkes offenbar derselben Formation), das er dem CORNELIUSschen Fund gleichstellen möchte.

Vorher hatte bereits M. RICHTER (1923, S. 200 und 202) bei Pfronten in den Aptychenschichten Konglomerate gefunden, die aus kleinen Quarzfragmenten und Aptychenbruchstücken bestehen.

Alle diese Funde zeigen die größte Übereinstimmung mit den von BODEN (1915, S. 211 ff.) aus den Lenggrieser Bergen ausführlich beschriebenen Konglomeraten.

Als weitere Anzeichen für bewegtes flaches Wasser haben die oft an Muschelschill erinnernden Massenzusammenschwemmungen von Aptychen zu gelten, wie sie bei uns in enger Verknüpfung mit den Konglomeraten auftreten. Hierzu gehören Funde von KNAUER (1905, S. 91/92), der im Herzogstandgebiet eine vollständig mit Aptychen besäte Bank fand, so daß sie „hier geradezu gesteinsbildend auftreten“. REISER und BÖSE machten ähnliche Anhäufungen, deren sandig-konglomeratisches Gefüge BODEN an Sammlungsstücken nachwies, aus den Hohenschwangauer Alpen bekannt, und BODEN selbst (1915, S. 214) spricht geradezu von „Aptychenbreccien“ in ähnlichen konglomeratischen Lagen der Lenggrieser Berge.

Die ersten Anzeichen für Flachmeerablagerungen im oberen Jura unseres Gebietes fand ich an den Türmen beider Vereinsalm: dünne, plattige, gelegentlich schiefriig-mergelige, hellgraue Kalke sind unregelmäßig gespickt mit weitgehend abgerollten Kalktrümmern desselben Gesteins, dessen sandig-konglomeratische Ausbildung auf den Schichtflächen in ausgewittertem Zustand am besten erkennbar ist. Zwischen den Trümmern des Konglomerates liegen vereinzelt kleine, turmförmige Schnecken (6—7 Umgänge) und Aptychen. Die starke tektonische Störung erlaubte hier eine Horizontierung nur bis zu einem gewissen Grade, insofern als eine Einordnung in die unteren Abteilun-

gen des Tithons wahrscheinlich gemacht werden konnte. Um dieser Frage nachzugehen, verfolgte ich die Schichtreihe im Streichen weiter nach Osten, wo ungestörtere Lagerung und größere Mächtigkeit eher Aussicht auf Erfolg versprochen. Tatsächlich konnte ich im Ribtal unweit Hinterriß, also schon außerhalb meines kartierten Gebietes, das Konglomerat in prachtvollem Aufschluß (bei der Zollbrücke auf der rechten Bachseite) wiederfinden. Die Schichtflächen sind durch den kleinen Steinbruchbetrieb auf viele Quadratmeter hin entblößt und geben einen vorzüglichen Einblick in die Sedimentationsverhältnisse. Es gibt da Schichten, deren Oberfläche bedeckt ist mit *Wurmgängen* (die „Fucoiden“ SAPPER^s [1888, S. 15] sind wohl nichts anderes), die sich teils wirr durchkreuzen und gabeln, teils gegenseitig über- oder unterlagern oder ausweichen (s. Abb. 19). Dazwischen liegen in großer Menge *Aptychen*, meist zerbrochen und an Hindernissen oder in Vertiefungen zu *Genisten* zusammengeschwemmt. Ebenso häufig sind unregelmäßige „*Wurstelbänke*“, wie sie im germanischen Muschelkalk so bekannt sind, gelegentlich sieht man auch *symmetrische Rippelmarken* mit schichtweise stark wechselnden Kammabständen. Auf allen Schichtflächen finden sich *Aptychen* der verschiedensten Größen (von fast mikroskopischer Kleinheit bis zu 6 cm Länge am Symphysenrand), selten in vollkommener Erhaltung, teilweise bis zur Unkenntlichkeit zerbrochen und dann meistens zu *Genisten* zusammengeschwemmt. (Zweiklappige, ganz vorzüglich erhaltene *Aptychen* fanden sich bemerkenswerterweise im ganzen Gebiet nur in solchen Sedimenten, die sich durch ihren reichen Radiolariengehalt und ihren grünlichen Farbton als Sedimente tieferen Wassers verrieten.)

Andere Schichtflächen überraschten durch die relative Häufigkeit der *Ammonitenschalenabdrücke*, von denen ich vier Exemplare auf wenigen Quadratmetern fand. Die zarten Gebilde trotzten allerdings jedem Versuch, auch nur einigermaßen vollständige Stücke zu gewinnen. Allerdings erlaubten auch die Bruchstücke eine Bestimmung der Gattung *Perisphinctes* sp. aff. *eudichotomus* ZITTEL. Dagegen war es unmöglich, die spärlichen Reste *hastater Belemniten* zu bestimmen. Bemerkenswert ist der Fund eines *Rhyncholithen*, unseres Wissens zusammen mit zwei Funden von *Rhyncholithes* sp., die ROTHPLETZ 1886 in den Vilser Alpen machte, die einzigen Cephalopodengebisse aus den *Aptychenschichten* des bayerisch-nordtiroler Faziesbezirkes. TILL, der die Cephalopodengebisse in einer Monographie zusammenzufassen suchte, kennt noch 1906 (S. 137) kein einziges aus den *Aptychenschichten*, seiner Meinung nach ein Beleg dafür, daß die Gebisse nicht von Ammoniten stammen, sondern von weichschaligen (dibranchiaten) Cephalopoden.

Schon mit bloßem Auge erkennt man auf manchen Schichtflächen zahllose *Spongienadeln*, während die Kalke selbst sich im Querbruch stellenweise als recht radiolarienreich erwiesen. Bei weitem am auffallendsten und schönsten entwickelt sind die *Konglomeratbänke* (s. Abb. 18). Ihre wohlgerundeten Komponenten sind ausnahmslos Kalke, die sich von den liegenden (und hangenden) Kalken nicht unterscheiden lassen. Außerdem ist der Fund eines *Aptychen* und der meist beträchtliche Radiolariengehalt innerhalb dieser Gerölle ein greifbarer Beweis dafür, daß die Komponenten dem oberen Jura (wahrscheinlich dem Tithon) selbst entstammen. Ihre Korngröße ist außerordentlich wechselnd, der Durchmesser schwankt zwischen 5 cm und Bruchteilen von einem Millimeter. Die Gerölle machen den Eindruck von Kalkschlick-

gerölln, die bei ihrer Einbettung noch formbar waren. Besonders augenscheinlich sieht man das an kleineren Gerölln, die durch allfällig überlagernde größere deformiert und breitgedrückt sind. Außerdem kann man nirgends eine typische Kanten- oder Eckenabrundung oder gar splittrigen oder muscheligen Bruch sehen, wie sie bei völlig verfestigtem Gestein hätten auftreten müssen. Glimmerschüppchen und Quarzkörper fehlen.

Das Bindemittel ist Kalkmergel, der stellenweise Radiolarien führt. Die Schichtflächen sind manchmal rötlich geflammt und eines der größeren Kalkgerölle zeigt im Querbruch eine ähnliche rote, etwa $\frac{1}{2}$ cm starke Lage zwischen normalem grauem Kalk.

Bezeichnend ist der große Reichtum an Cephalopodenresten, hauptsächlich Aptychen, die oft ganze Schichtflächen bedecken, zu Genisten zusammengespißt oder zwischen Gerölln eingebettet sind. Die größeren, außerordentlich dickschaligen Aptychen sind meistens besser erhalten als die kleinen, die oft zu regelrechtem Aptychengrus zerrieben sind. In den Konglomeraten finden sich vereinzelt Belemnitenreste.

Interessant ist der schon BODEN (1915, S. 214) aufgefallene geringe Gehalt an Hornsteinen in diesen Konglomeratbänken, der sich durch das Fehlen geeigneter Abscheidungslagen für die sekundär infiltrierte Kieselsäure und den verhältnismäßig geringen Gehalt an Kieselsäurelieferanten erklärt.

Die Mächtigkeit der Bänke ist örtlich großen Schwankungen unterworfen, die dicksten erreichen 10—15 cm Mächtigkeit, zuweilen liegen aber auch nur vereinzelte Gerölle oder Nester von Gerölln auf den Schichtflächen.

Funde von ausgezeichneter Kreuzschichtung im Querbruch der unterliegenden Schichten bestätigen die starke Wasserbewegung, die durch die Konglomeratlagen so eindringlich veranschaulicht wird.

Das Alter der Ablagerung ist durch häufige Funde von *Aptychus punctatus* VOLTZ und *Aptychus gracilicostatus* GIEB. eindeutig als Tithon festgestellt. Ihre stratigraphische Stellung ist auf den Meter genau nicht anzugeben, da der direkte Verband mit dem unterlagernden Lias durch Gehängeschutt verdeckt ist. Immerhin läßt sich mit einiger Sicherheit feststellen, daß die Konglomeratbänke 30—40 m über dem Lias liegen (Lagerung W-E, 70 bis 80° S).

Zusammenfassung: In den unteren Abteilungen des Tithons der Mittenwalder Karwendelmulde (etwa 30—40 m über dem Lias) wurden an zwei, wahrscheinlich demselben Horizont angehörenden Stellen (Vereinsalm und Hinterriß) Konglomeratbänke nachgewiesen. Ihre Komponenten sind ausnahmslos kalkalpin, wahrscheinlich sogar sämtlich Tithon. Sie sind als noch bildsame Kalkschlickgerölle zusammengeschwemmt worden. Bezeichnend ist der große Reichtum an Aptychen, die in den feinsandigeren Lagen die Schichtflächen oft völlig bedecken. Die über- und unterlagernden Bänke führen ebenso wie die Gerölle selbst und ihre Bindemittel oft reichlich Radiolarien. Die Konglomerate beweisen submarinen Abtrag bereits ziemlich verfestigten, aber noch plastischen Sediments infolge starker Wasserbewegung (Kreuzschichtung, Rippelmarken), wie sie nur in Flachmeeren möglich ist. Anzeichen für völlige Trockenlegung fehlen.

Folgerungen: Die Konglomerate stimmen völlig mit den von BODEN (1915, S. 213—215) in den Lenggrieser Bergen nachgewiesenen überein. BODEN

sah in dem beschränkten Vorkommen in einer schmalen Zone am nördlichsten Rande der Kalkalpen den Einfluß der nahen Nordküste. „Die Ablagerung der geschilderten oberjurassischen Schichten am Nordrand der Kalkalpen muß daher in einem seichten, nicht allzu küstenfernen Meere vor sich gegangen sein. Dieselben stehen also im Gegensatz zu den weiter südlich entwickelten, detritusfreien, rein organogenen Oberjurasedimenten, die einen durchaus pelagischen Habitus besitzen. Diese letzteren sind als die weitverbreitete Normalfazies des oberen Jura anzusehen, während die durch die Einlagerung der klastischen und mergeligen Bänke, den hohen Gehalt an organischen Resten und das Zurücktreten der Hornsteine charakterisierten Schichten, welche vereinzelt am Nordrand der Alpenkette auftreten, eine küstennahe Fazies der Oberjura bilden.“

Diese Annahme schien durch weitere Funde derselben Flachseeausbildung am Alpennordrand eine vortreffliche Bestätigung zu erfahren. BODEN selbst konnte nachweisen, daß auch die von DACQUÉ (1912, S. 32) im Aalbach bei Tegernsee gefundenen (damals dem Neokom zugerechneten) feinkonglomeratischen Bänke demselben Horizont angehören — die Neubearbeitung dieses Konglomerates durch LEUCHS erschien während des Druckes, s. Centralbl. Min. etc. Abt. B. S. 417—425, 1929 —, daß ferner die von REISER und BÖSE in den Hohenschwangauer Alpen gesammelten Aptychenanhäufungen ebenfalls sandig-konglomeratischen Lagen entstammen (was übrigens auch von den KNAUERSchen [1915, S. 91/92] aus dem Herzogstandgebiet anzunehmen ist). 1921 fand CORNELIUS dieselbe Ausbildung im oberen Jura am Imberger Horn im Allgäu, 1923 M. RICHTER bei Pfronten und 1924 REIS ebenfalls im Allgäu. Das ausschließliche Vorkommen sämtlicher Funde in der äußersten Vorzone der Kalkalpen schien so überzeugend für die BODENSche Auffassung einer küstennahen Fazies zu sprechen, daß M. RICHTER (1923, S. 200) sagen konnte: „Weiter südlich sind solche Breccien undenkbar.“

Meine Funde erbrachten dagegen den Nachweis, daß die Flachmeersedimente nicht an eine küstennahe Vorzone gebunden sind, sondern mitten im Beckeninnern detritusfreiem Sediment eines tieferen Meeres eingeschaltet sind. Damit werden sie zu Kennzeichen beträchtlicher Bodenbewegungen innerhalb des Tithons, die nicht nur eine schmale Küstenzone (vom Allgäu bis zum Tegernsee) bis in die Nähe des Wasserspiegels hoben, sondern zu einer allgemeinen Verflachung des gesamten Meeresbeckens führten. Offenbar haben wir es mit einer Phase der jungkimmerischen Gebirgsbildung zu tun (vgl. STILLE 1924 und E. SPENGLER 1927).

Hornsteinbreccie.

Zu noch überraschenderen Ergebnissen führte die Untersuchung einer anderen klastischen Einlagerung im Tithon des Gebietes, die mit dem BODENSchen Konglomerat nichts zu tun hat. Wo beide in demselben Profil auftreten, liegt das BODENSche Konglomerat in einem (bei ungestörter Lagerung etwa 40—50 m) tieferen Horizont. Das jüngere Konglomerat konnte an folgenden Stellen nachgewiesen werden: bei der Rehbergalm und am Zunderweidkopf im gleichen Horizont der beiden Muldenflügel in nicht genau bestimmbarer Mächtigkeit (sicher über $\frac{1}{2}$ m) und bei der Brandelalm am Fahrweg im Südflügel der Mulde (etwa 3 m mächtig). Ich verfolgte das Vorkommen im Streichen der Mulde weiter nach Osten und konnte es

(schon außerhalb des Gebietes) in der Gegend von Hinterriß an mehreren Stellen wiederfinden: nordwestlich von Hinterriß im Ronbergwald auf der linken Seite des Ribbaches erreicht es eine Mächtigkeit von mindestens 6 m, auf der rechten Bachseite wird das Konglomerat durch die Fahrstraße in demselben Muldenflügel wenige Meter, auf dem Nordflügel nur $\frac{1}{2}$ m aufgeschlossen. Noch weiter im Osten konnte ich es am Baumgartenjoch, also ebenfalls auf dem Nordflügel, in unbestimmter Mächtigkeit wiederfinden. Das Konglomerat scheint trotz großer örtlicher Schwankungen nach Osten allmählich an Mächtigkeit zuzunehmen, außerdem auf dem Südflügel der Mulde mächtiger zu sein als auf dem Nordflügel.

Sämtliche Vorkommen zeigen im Großen gewisse Uebereinstimmungen: sie sind im Gegensatz zu dem BODENSchen Konglomerat immer ausgesprochen polymikt und stets mehr oder weniger reich an Hornsteinen. Die Komponenten sind Trümmer von bereits völlig erhärteten Gesteinen, nicht bei der Einbettung noch bildsame Schlickgerölle. Ihre Abrollung ist demgemäß nur unvollkommen. Das Bindemittel tritt in der Regel sehr in den Hintergrund und kann völlig fehlen. Die Bänke wittern wegen ihrer außergewöhnlichen Härte leicht heraus und bilden morphologisch auffällige Kämmе.

Im einzelnen zeigt sich dagegen eine Reihe gradueller Unterschiede, die eine gesonderte Besprechung der verschiedenen Vorkommen erfordern.

Z u n d e r w e i d k o p f: Die Komponenten erreichen höchstens 3 cm Durchmesser, nur verdrückte Mergelfetzen mehr. Die Kalke sind wenigstens kantengerundet. Auch die Hornsteine zeigen oft Spuren von Abrollung. Eine Ausnahme von der wirren Anordnung der Gesteinstrümmer bilden die leicht kenntlichen Hornsteine, die gelegentlich bankweise sehr häufig werden, in anderen Bänken dagegen völlig zu fehlen scheinen. Im Verhältnis zur Gesamtzahl der Trümmer konnten nur wenige Gerölle in ihrem Alter mit Wahrscheinlichkeit festgelegt werden:

Hornsteine und radiolarienreiche graue Kalke aus dem Oberjura,
roter Kalk, Crinoidenkalk und weißer Spatkalk aus dem Lias,
dunkelblaue, schalenschillreiche Kössener Kalke,
hellgelbe Kalke, gelegentlich mit Foraminiferen und sonstiger Mikrofauna und Schalenschill,
wahrscheinlich Plattenkalk.

Außerdem fanden sich verkieselte Korallen und Bryozoenreste, viele isolierte, von großen Kalkspatkristallen gebildete Crinoidenstielglieder, Pyritknollen, fettige dunkle Mergeltone und Sphärocodien führende helle Kalke. Von besonderer Wichtigkeit sind gerundete Quarzkörner, die nesterweise vorkommen, und größere (bis 3 cm Durchmesser) Brocken von Quarz, ebenso ein Stück Sandstein mit kieseligem Bindemittel, der aus glasklaren Quarzkörnern besteht. Kleinere Quarzkörner sind ziemlich häufig allseitig von einem Mantel von grauem Kalk umgeben, und auch viele kleinere Kalkstückchen oder organische Reste findet man öfter in der Mitte eines runden Kalkgerölls. Bei stärkeren Vergrößerungen läßt sich deutlich erkennen, daß sich der Kalk in plastischem Zustand um einen schon harten Kern gelegt haben muß, ein Vorgang, den man sich dadurch erklären kann, daß das Quarzkörnchen oder ein sonstiger harter Gegenstand beim Rollen über einen noch plastischen Kalk allseitig von ihm umgeben wurde. Das mergelig-kalkige Bindemittel kann so weit zurücktreten, daß es makroskopisch nicht mehr zu erkennen ist. Stellenweise ist es allerdings reichlich vorhanden und führt dann gelegentlich Foraminiferen. Auch eine Radiolarie und ein unbestimmbarer Bryozoenrest fanden sich darin.

B r a n d e l a l m: Dieses Vorkommen unterscheidet sich von allen anderen durch die geringe Größe der Komponenten, die dafür um so mehr gerundet sind, und das überraschend reiche Bindemittel. Unter den Komponenten konnte mit Sicherheit nur roter Liaskalk nachgewiesen werden. Die häufigen hellen Kalke stammen entweder aus dem Plattenkalk oder dem Oberjura. Das Bindemittel ist außerordentlich reich an Foraminiferen, besonders häufig sind verschiedene Vertreter folgender Familien: Textulariiden, Globigeriniden, Rotaliden, Nodosariden, Milioliden und Miliolinen. Außerdem fanden sich neben einer

Menge unbestimmbarer mikroorganischer Reste Spongiennadeln in wechselnder Menge und unregelmäßige Pyritknollen und -knöllchen.

Im Ronbergwald erreichen die Komponenten beträchtliche Größen. Gerundete und eckige Kalkbrocken von 10 cm Durchmesser sind keine Seltenheit, die durchschnittliche Größe beträgt immerhin 2—3 cm. Die Komponenten sind vorwiegend hellgrauer, an Kleinformen ziemlich reicher Kalk unbestimmter Herkunft, roter Liaskalk und radiolarienreicher Oberjurakalk. Einzelne graue Kalke (Plattenkalk) zeigen eine eigene, vom Nebengestein unabhängige Klüftung, die beweist, daß die Brocken vor ihrer Einbettung bereits in festem Zustand eine tektonische Beanspruchung erlitten haben. Vereinzelt kommen kleine gerundete Quarzkörner vor. Die Hornsteinauswitterungen sind fast ausschließlich verkieste Organismen, vorwiegend Bryozoenreste. Das Bindemittel ist reich an Foraminiferen (*Globigerina*, *Textularia*, *Biloculina*, *Discorbina*, *Rotalia* usw.) und Spongiennadeln. Crinoidenstielglieder, manchmal auch Geniste von Seeigelstacheln finden sich seltener. Bezeichnend sind sphärocodienartig umhüllte Fremdkörper (Kalkbrocken und organische Reste).

Die Vorkommen auf der rechten Talseite des Ribbaches bei Hinterriß. Im Konglomerat des Südflügels fand sich ein auffälliger schwarzer, feinkörniger Dolomit in Brocken bis zu 5 cm Durchmesser, daneben helle, fast reine Foraminiferenkalk. Beachtenswert ist die Häufigkeit unregelmäßiger Pyritknöllchen. Im Bindemittel wieder reichlich Foraminiferen, besonders Textulariden. Das Konglomerat des Nordflügels bot nichts wesentlich Neues.

Am Baumgartenjoch (Südhang) zeigen besonders die angewitterten Stücke einen großen Reichtum an verkiesten Organismen, wieder vorwiegend Bryozoen, dann aber auch Crinoidenstielglieder und einen Seeigelstachel. Im Bindemittel wiederum Foraminiferen und ein Aptychenbruchstück.

Folgerungen: Das Konglomerat ist sedimentärer Entstehung. Die Beweise dafür sind folgende: Es ist im Liegenden und Hangenden eng mit dem Nachbargestein verbunden und tritt als selbständiges, horizontbeständiges Schichtglied auf (auf beiden Flügeln der Mulde und im Streichen über eine Erstreckung von mehr als 15 km). Die Hornsteine zeigen deutlich eine lagenweise Anreicherung parallel zur Schichtung. Das Konglomerat ist polymikt und führt gerundete Quarzbrocken und -körner und Gesteine, die in der Nachbarschaft nicht anstehen. Nirgends ist eine greifbare Abhängigkeit von Dislokationen oder starken tektonischen Störungen zu erkennen. Auch die kalkalpinen Komponenten sind meist kantengerundet. Das Bindemittel führt neben einer arten- und individuenreichen Foraminiferenfauna isolierte Bruchstücke anderer Organismen: Aptychen, Spongiennadeln, Bryozoenreste, Crinoidenstielglieder, Echinodermenstacheln usw.

Die kalkalpinen Gerölle bestehen aus Komponenten sämtlicher älteren Formationen bis zum Plattenkalk hinunter. Diese Schichtglieder müssen also zur Zeit der Ablagerung der subaerischen Erosion zugänglich gewesen sein (untermeerische Gleitung oder Seebeben kommen nicht in Frage, s. u.), d. h. in der Nachbarschaft unseres Gebietes müssen diese Schichtglieder über dem Meeresspiegel gelegen haben. Das ist nur möglich durch vorangehende tektonische Bewegungen, die ich ebenfalls der jungkimmerischen Gebirgsbildung zuordne, allerdings einer späteren Phase als der, die das BODENSche Konglomerat entstehen ließ.

Bei meinem Bestreben, Äquivalente dieses polymikten Konglomerats aus der Nachbarschaft zu ermitteln, stieß ich auf eine völlig in Vergessenheit geratene Notiz bei CLARK (1887, S. 26), der am Fonsjoch westlich vom Achensee offenbar dasselbe Konglomerat gefunden hat: „Zu Zeiten kommen Schichten einer Breccie dazwischen (zwischen den Aptychenschichten) gelagert vor; diese führen meist Hornstein, welcher eine weit größere Festigkeit als

der Kalk hat; es bleiben diese Schichten daher an gewissen Punkten zufolge der Widerstandsfähigkeit gegen die Erosion als nackte Käbme übrig. Auf dem Pfans(= Fons)joch sieht man vier oder fünf sehr auffällige Käbme dieses Charakters.“ Damit ist der Nachweis erbracht, daß sich das Konglomerat im Streichen der Mulde nach Osten nunmehr bereits auf eine Erstreckung von fast 30 km anscheinend mit weiterhin zunehmender Mächtigkeit fortsetzt. Später hat AMPFERER (nach brieflicher Mitteilung) in demselben Gebiet Breccien wohl öfter gesehen, aber nicht genauer verfolgt.

Der Fund von CLARK bestärkte mich in der Meinung, daß unser Konglomerat nichts anderes ist, als die bekannte Hornsteinbreccie des Rofans. Die stratigraphische Stellung, die schwankende Mächtigkeit, die Art und das Mengenverhältnis der Komponenten (Oberjura bis Plattenkalk), der Reichtum an Hornstein und verkieselten, ursprünglich kalkigen Organismen sind so übereinstimmend, daß an einer zeitlichen und genetischen Gleichsetzung nicht gezweifelt werden kann. Damit bin ich gezwungen, mich an der Diskussion über die Natur der Hornsteinbreccie zu beteiligen, und bin in der Lage, das Problem unter Heranziehung neuer Gesichtspunkte von anderer Seite zu beleuchten.

Noch immer stehen sich zwei Ansichten über die Entstehung der Hornsteinbreccie schroff gegenüber. Die eine geht auf WÄHNER (1903) zurück und ist dann hauptsächlich von G. STEINMANN (1925) vertreten worden. Sie erklärt die Breccie tektonisch und hält sie für eine Dislokationsbreccie. Die Gründe hierfür sind hauptsächlich ihre Einschaltung zwischen Tiefseesedimenten und das wahrscheinliche Vorhandensein von Komponenten, die aus dem Hangenden stammen sollen.

Demgegenüber hat AMPFERER (1908) wichtige Gründe für eine sedimentäre Entstehung angeführt: Die regelmäßige stratigraphische Einordnung, die Wechsellagerung mit Nachbarsedimenten im Hangenden und Liegenden, die lagenweise Ausbildung als Breccie und als Konglomerat, das Auftreten von Schichtung, die Führung von Gesteinen, die im Sonnwendgebirge nicht anstehen, die Buntheit und Mannigfaltigkeit der Komponenten, ihre häufige Geröllform, das Fehlen jeden Zusammenhangs mit der benachbarten Tektonik usw. Dieser Ansicht einer sedimentären Entstehung hat sich u. a. CORNELIUS (1927) angeschlossen.

Eine vermittelnde Meinung vertrat KOBER (1912, S. 449), der an eine Entstehung bei Seebeben oder Brüchen in der Tiefsee (zum Teil Dislokationsbreccie, zum Teil feine Schuttströme) denkt.

Ebensowenig befriedigend ist die Lösung, die HERITSCH (1915, S. 69, 1923, S. 6) gab, der die Breccie durch subaquatische Rutschung entstanden dachte. Denn einmal fehlen alle Kennzeichen untermeerischer Gleitung, wie Faltung und Quetschung innerhalb der gleitenden Masse und ihrer Schubfläche, Aufstauchen des noch plastischen Sediments an der Stirn des gleitenden Paketes usw., vor allem aber ist damit in keiner Weise eine Aufarbeitung des völlig verfestigten Untergrundes auf viele hundert Meter (bis zum Plattenkalk) zu erklären; rätselvoll bliebe auch die völlige Durchmischung und die Herkunft vereinzelter gerundeter Quarzkörner.

Es bleibt also bei den beiden Möglichkeiten: tektonische Dislokationsbreccie oder sedimentäres Konglomerat. Durch die Erweiterung des Gesichtsfeldes, die die neuen, in viel ungestörterem Gebiet gewonnenen Funde mit sich brachten, glaube ich das Problem einwandfrei zugunsten der sedimentären Entstehung lösen zu können.

Prüfen wir zuerst die Argumente einer tektonischen Entstehung unter dem nunmehr möglichen größeren Gesichtswinkel. Bestimmend für die Anhänger dieser Ansicht waren einmal Gründe, die die innere Zusammensetzung der Breccie betrafen, und dann Folgerungen, die sich aus ihrer stratigraphischen und tektonischen Stellung ergaben. Was die innere Zusammensetzung anlangt, so schien lediglich bewei-

send das Vorhandensein von Komponenten aus dem Hangenden, namentlich von „Kalken mit Nerineen, die aller Wahrscheinlichkeit nach aus den oberjurassischen Hornsteinkalken, dem Hangenden der Hornsteinbreccie, stammen. Aus diesen Oberjurakalken rühren auch die aus Spongiennadeln bestehenden grauen und schwarzen Hornsteine der Hornsteinbreccie her“ (WÄHNER, S. 156). Aber gerade diese Hornsteine sind im vorderen Karwendel im Liegenden der Breccie sehr häufig, wie ja überhaupt sekundäre Kieselsäureanreicherungen an den verschiedensten Stellen mit verschiedener Stärke und Ausdehnung vor sich gegangen sind. Es bleiben somit nur die Nerineenkalken, über deren stratigraphische Stellung sich heute mit Bestimmtheit ebensowenig sagen läßt. Die Hornsteinbreccie des Karwendels enthält nach meinen Untersuchungen nirgends Komponenten, die mit Notwendigkeit jüngeren Schichtgliedern zugesprochen werden müßten, dagegen wohl solche, die in der Nachbarschaft nicht anstehen (Quarz usw.).

Bei weitem schwerwiegender schien dagegen die stratigraphische Stellung der Breccie, d. h. ihre Einschaltung zwischen „Tiefseesedimente“ des oberen Jura (STEINMANN'S Auffassung als Liaskieselkalk ist schon von AMPFERER [1926] widerlegt worden), gegen eine sedimentäre Herkunft zu sprechen. Aber einmal bedarf das „Tiefseesediment“ einer erheblichen Einschränkung. Denn das Hauptargument für abyssische Tiefen, der so gut wie kalkfrei und tonfreie Radiolarit, fehlt ebenso wie Manganknollen und ähnliche Tiefseeanzeichen in unserem Faziesgebiet. Die sekundären Hornsteinlagen besagen nichts über die Tiefe des Meeres (s. Feuerstein der Kreide), lediglich die stellenweise häufigen Radiolarien und das Fehlen terrigenen Materials sprechen für Absätze in einem küstenfernen Meer, das mit einer Tiefe von etwa 1000 m allen Anforderungen gerecht wird. Außerdem hat aber bereits WÄHNER und nach ihm AMPFERER nachgewiesen, daß der Uebergang von diesem reinen Sediment zum Konglomerat sich keineswegs plötzlich, sondern ganz allmählich vollzieht, indem sich auf einer mehr oder weniger mächtigen Zwischenzone allmählich das Konglomerat einzustellen pflegt und ebenso allmählich wieder verschwindet.

Schließlich führt die tektonische Stellung der Breccie in ihrem nunmehr ausgedehnteren, einfach gebauten Verbreitungsbezirk zu unhaltbaren Folgerungen; denn in der Kreidemulde des vorderen Karwendels liegt die Hornsteinbreccie als selbständiges, alle Faltungen mitmachendes Schichtglied im gleichen stratigraphischen Horizont der beiden Muldenflügel: sie kann also nicht durch eine Dislokation entstanden sein.

Zu diesen negativen Merkmalen treten neue (s. AMPFERER 1908) positive Beweise, die jeden Zweifel an einer sedimentären Entstehung beheben:

1. Die nunmehr außerordentlich weite Verbreitung (über 40 km Luftlinie), gebunden an einen bestimmten stratigraphischen Horizont.
2. Komponenten (gerundete Quarze von mehreren Zentimetern Durchmesser, Quarzkörner usw.), die in der Nachbarschaft nicht anstehen (s. o.).
3. Fossilien im Bindemittel (s. o.).

Eine sedimentäre Entstehung ist aber nur in ursächlichem Zusammenhang mit tektonischen Bewegungen möglich, die kalkalpine Schichtserien bis zum Plattenkalk der Erosion zugänglich machten und außerdem die Zufuhr vereinzelter kristalliner Materials gestatteten. Wahrscheinlich haben wir es auch hier wieder mit einer Phase der jungkimmerischen Gebirgs-

bildung zu tun, die zu lokalen stärkeren Bewegungen Anlaß gab. Vielleicht steht damit die Transgression von tilhonischen Aptychenschichten über Lias bei Landl (westlich Kufstein) im Zusammenhang.

Ob und wie weit ein ursächlicher Zusammenhang mit den vulkanischen Ergüssen des Ehrwaldits (Südrand des Wettersteins und Spielstjoch im Karwendel) besteht, läßt sich heute noch nicht absehen.

In welcher Weise die Sedimentation des Hornsteinkonglomerates vor sich ging, kann nur vermutungsweise angedeutet werden. Vielleicht wird folgende Möglichkeit den Tatsachen am meisten gerecht: Im Osten meines Gebietes, in der Nähe des Sonnwendgebirges (unversehrte Schichtpakete in ursprünglichem Zusammenhang und größte Mächtigkeit im Sonnwendgebirge), fand die relativ schnelle und starke Erhebung kalkalpinen Materials bis zum Plattenkalk über den Meeresspiegel statt. Sofort setzte starke Erosion ein, die im Sonnwendgebirge ein mächtiges Schuttdelta aufschüttete. Meerwärts, also nach Norden, mußte die Mächtigkeit der Aufschüttung allmählich abnehmen, der Grad der Abrollung und die Menge des marinen Bindemittels dagegen zunehmen.

Diese Ansicht ist, wie gesagt, eine Hypothese. Weitere Untersuchungen, die in der östlichen Fortsetzung der Mittenwalder Karwendelmulde sowie in dem Muldenrest westlich vom Achensee (Feilkopf, Gutenberg) anzusetzen sind, könnten diese paläogeographische Frage klären. Vielleicht läßt sich mit Hilfe der Hornsteinbreccie dort auch die Frage nach der Fortsetzung der Rofanmulde eindeutig beantworten.

Hornsteine.

Das Problem der Hornsteinbildung ist in letzter Zeit durch die Arbeiten von WINKLER (1925), SCHWARZ (1929) und HEINZ (1929) einer Lösung nähergebracht worden. Wir wollen prüfen, wieweit die dort gewonnenen Ergebnisse für unsere Oberjurahornsteine zutreffen und welche Schlüsse sich daraus ziehen lassen. Eine eingehende, auch für die Hornsteine des bayrisch-nordtiroler Faziesbezirkes im allgemeinen zutreffende Darstellung des makroskopischen Befundes findet sich bei WINKLER (1925).

1. Die Hornsteine sind entstanden durch sekundäre Konzentration der Kieselsäure aus einem ursprünglich im ganzen Kalksediment mehr oder weniger gleichmäßig verteilten, häufig auf Schichtflächen angereicherten kieseligen Ausgangsmaterial organischer Herkunft. Diese schon längst vermutete, durch die oben erwähnten Arbeiten eindeutig bewiesene Tatsache entrichtet das Hornsteinproblem nunmehr endgültig „allen auf den physikalisch-chemischen Zustand des Meerwassers bezüglichen Spekulationen“. Mit dem Nachweis der sekundären Natur der Hornsteine fällt aber auch das gesamte Gedankengebäude in sich zusammen, das sich auf die Gleichsetzung des Hornsteins mit sedimentärem Radiolarit gründete. Unter den vielen bedenklichen Schlüssen, zu denen diese Annahme führte, mag nur folgender erwähnt werden: Hornstein = Radiolarit = Abyssit, also Oberjurameer = Tiefsee von mehreren tausend Metern Tiefe (HAHN 1914, HERITSCH 1915, STEINMANN 1925 und viele andere).

In meinem Gebiet gibt es keine Radiolarite.

2. „Die Richtung, in der die Kieselsäure herangebracht wurde, war offensichtlich von oben nach unten.“ Direkte Beweise für diese von SCHWARZ (1929) und HEINZ (1929) an den kretazischen Feuersteinbänken gewonnene

Erkenntnis, deren kolloid-chemische Grundlagen durch LINCK und BECKER (1925) geklärt wurden, konnte ich aus meinen Handstücken nicht entnehmen. Allerdings scheint folgende Beobachtung dafür zu sprechen: Organismen mit ursprünglichem Kieselsäuregehalt finden sich in größerer Menge anscheinend nur im unmittelbar Liegenden einer Serie von Hornsteinlagen oder einer einzelnen Hornsteinbank, im unmittelbar Hangenden sind nur die Abdrücke erhalten. (Die Zunahme der Hornsteineinschlüsse gegen das Hangende des Oberjura, wie sie von BODEN (1915, S. 214) übereinstimmend aus den Schliersee- und Tegernseer Bergen und im Benediktinerwandgebiet festgestellt wurde, kann durch eine Zunahme der Kieselsäure liefernden Organismen in den betreffenden Schichten verursacht sein.)

Aus 2. folgt

3. Die Gesteinsmasse lag bei der Hornsteinbildung über dem Grundwasserhorizont, die Hornsteinbildung begann erst nach der Heraushebung des Gesteins aus dem Meere (CORNET 1910, SCHWARZ 1929, HEINZ 1929).

Nachweisbare Heraushebungen über den Meeresspiegel traten im Gebiet aber erst zu Beginn der mittelkretazischen Orogenese ein. Sollten die durch die Konglomerate des Oberjura angezeigten Bodenbewegungen wirklich bis zur teilweisen Trockenlegung geführt haben (wofür die Beweise noch fehlen), so würde damit die Hornsteinbildung nur der liegenden Schichten zu erklären sein, nicht aber der hangenden, für die ein neuerliches Auftauchen Voraussetzung wäre. Bleiben wir allerdings bei der einzig bewiesenen Heraushebung zu Beginn der alpinen Orogenese, so spricht für diese gemeinsame Ursache nicht nur die große regionale Verbreitung der Hornsteinbildungen, sondern auch die Tatsache, daß an mehreren Stellen des Faziesbezirkes Hornsteine auch im Neokom vorkommen (nämlich wo die Bedingungen zur Hornsteinbildung, also reichlich Rohstofflieferanten, vorhanden waren).

Wenn die Hornsteine der Hornsteinbreccie aus tieferem Oberjura stammen, so würde das nichts anderes bedeuten, als daß diese Hornsteine in der Zeit von der Heraushebung über den Meeresspiegel bis zur Zerstörung der betreffenden Schichten durch die Erosion entstanden sein müssen. Viele Hornsteinkomponenten der Breccie, so meines Erachtens alle verkieselten Organismen (Korallen, Bryozoen usw.) mögen jedoch ihre Entstehung erst einer sekundären, viel späteren Verkieselungsperiode verdanken, die vielleicht auch die Ausscheidung der Hornsteinlagen des Hangenden veranlaßte.

Andererseits war mit der Möglichkeit der Hornsteinbildung noch nicht deren Notwendigkeit verknüpft (wie die Vorkommen von Oberjura z. B. aus dem Allgäu [REISER 1924, S. 132] beweisen, wo der ganze Kieselsäuregehalt noch in seiner ursprünglichen Form, als feinverteilte Organismenreste, vorhanden und nicht in Hornsteinlagen angereichert ist).

Auch der Zeitpunkt des Abschlusses der Hornsteinbildung kann festgelegt werden (was in der norddeutschen Kreide auf diesem Wege natürlich nicht möglich ist). Die Hornsteinlagen haben nämlich ausnahmslos alle Faltungen, Brüche und Verwerfungen des Begleitgesteins mitgemacht, nirgends tritt Hornstein auf Spalten oder Brüchen auf. Die Hornsteinbildung hatte also bereits vor Beginn der Faltung ihren Abschluß erreicht. Sie muß also in der Zeit vom ersten Heraustreten über den Meeresspiegel bis zum Beginn der Faltung stattgefunden haben.

Die von WINKLER eingehend beschriebenen, aber erst von SCHWARZ richtig erkannten, verschiedenartigen Hornsteingenerationen (WINKLERS „Imprägnationshöfe“) lassen sich vielleicht in diesem Zusammenhang erklären. Möglicherweise entspricht jede neue Hornsteingeneration einer neuen Trockenlage; in der dazwischen liegenden Zeit war das Sediment wieder unter den Grundwasserspiegel untergetaucht und damit die Hornsteinbildung verhindert. Solche Schwankungen des Grundwasserspiegels mußten vier- und mehrmals stattgefunden haben (soviel Generationen nämlich vorhanden sind). Allerdings bleibt in jedem Fall das ganz verschiedene und regellose Verhalten der späteren Hornsteingenerationen dicht benachbarten Knollen gegenüber merkwürdig.

Heute herrscht oberflächlich genau wie bei dem Feuerstein der Kreide Entkieselung, angezeigt durch eine helle Entkieselungszone.

Kreide.

Neokom.

Der Übergang vom Oberjura zum Neokom vollzieht sich auch im Karwendel ganz allmählich. Die Kalkbänke beginnen mergeliger und dünnbankiger zu werden, die bezeichnenden (durch Verwitterung des in den Mergeln recht häufigen, oft an Fossilien gebundenen Schwefelkiesgehaltes entstandenen) „Rostflecken“ treten auf, die Farbe des frischen Gesteins wird deutlich schmutzigrün, braunschwarze, leicht bröckelnde Tonschiefer treten auf, die Hornsteinlagen hören ganz auf. An anderen Stellen des Faziesbezirkes setzen sich die Hornsteinlagen bis ins Neokom fort und sind dann lediglich Beweise dafür, daß einmal im Hangenden Schichten mit reichen primärkieseligen organischen Resten vorhanden waren, deren Kieselsäure sekundär in Bänken oder Linsen angereichert wurde. Im Gebiet fehlen solche primärkieseligen Organismenreste (Radiolarien, Spongiennadeln) fast völlig.

Die größte Mächtigkeit des Neokoms mag in meinem Gebiet etwa 100 m betragen.

Das Meer beginnt nunmehr flacher zu werden und damit stellt sich auch wieder eine relativ reichere Fauna ein. Gute Fundpunkte sind selten, denn die wasserundurchlässigen Mergel begünstigen gewöhnlich die Anlage sumpfiger Almen oder doch wenigstens dichten Pflanzenwuchses. Nur wo die Höhenlage die Ansiedlung von Pflanzen verhinderte (Jöchl) oder Wasserläufe tiefe Rinnen schufen (Marmorgraben, Fermersbach), gibt es gute Aufschlüsse. Besonders an der Brandlalm unterhalb der neuen Klause hat der Fermersbach sein Bett oft einige Meter tief in die weichen Mergel eingeschnitten und dadurch Schichtflächen von vielen Quadratmetern prachtvoll zugänglich gemacht. Von dort stammen die meisten Funde.

Am häufigsten sind mehr oder weniger verdrückte Ammoniten, von denen folgende bestimmt werden konnten:

Hoplites angulicostatus ORB.

„ *rarefurcatus* PICT.

Lyctoceras sp. aff. *quadrisulcatum* ORB.

Phylloceras sp.

Crioceras sp.

Sonstige bestimmbare Tierreste sind selten, es fanden sich *Terebratula* cf. *euganeensis* PICT. und zwei Aptychen.

Die Mikrofauna besteht aus schlecht erhaltenen Foraminiferen, die oft recht häufig sind, und Spongiennadeln. Die Seltenheit der Radiolarien ist schon RÜST (1885) aufgefallen; gelegentlich findet man auf den Schichtflächen verkohltes Pflanzenhäcksel. Andere Schichtflächen sind bedeckt mit Kriechspuren und ähnlichen Gebilden. Von den Kriechspuren sind besonders häufig mäandrierende Formen, deren Spurbreite etwa 2—3 mm beträgt, und breitere ($\frac{1}{2}$ bis $1\frac{1}{2}$ cm) geradere Spuren, die beim Anfeuchten einen Aufbau von wechsel-lagernden dunklen und hellen sichelförmigen Gebilden aufweisen. Vielleicht handelt es sich um Schleimfiguren. Die Fortbewegung des verursachenden Tieres würde dann in der Richtung der konvexen Seite der Sicheln erfolgt sein.

Ziemlich häufig sind in den weichen Mergeln harte, dunkle, teilweise bituminöse Kalksandbänke und -linsen eingeschaltet, die gewöhnlich mehrere Zentimeter, manchmal allerdings auch mehr als einen Meter Mächtigkeit erreichen. Die Korngröße ist gering und beträgt höchstens einige Millimeter. Am häufigsten sind helle und dunkle, gelegentlich auch rote Kalkkörner. Lagenweise nimmt der Gehalt an feinem, rotem, tonigem Material zu, sodaß dadurch eine gewisse Schichtung verursacht wird. Auch feiner, heller Ton oder gröbere Kalkkörner treten deutlich lagenweise auf. Gerundete Quarzkörner finden sich ziemlich unregelmäßig verstreut, auf den Schichtflächen erkennt man oft zahllose Glimmer-(Muskovit-)Schüppchen. Die dunkleren Kalke sind reich an Bitumen, feinverteilter Kohlesubstanz und Kohlepigmenten, die beim Glühen vergasen. Das Bindemittel ist bald rein kalkig, bald mehr oder weniger tonig.

Die Kalksand-Bänke sind arm an organischen Resten. Äußerst selten findet sich ein Schalenrest oder Secigelstachel. Häufiger sind verkohlte pflanzliche Reste, die, zu feinstem Häcksel zermahlen, den Schichtflächen ein bezeichnendes gesprenkeltes Aussehen verleihen. Eine Ausnahme von dieser Fossilarmut bildete nur an einer einzigen Stelle die Dachfläche einer solchen Kalkbank, auf der sich neben unbestimmbaren, großen, äußerst dünnen Kalkplatten mit merkwürdiger handförmiger Skulptur ein Selachierzahn fand.

Die Kalksandbänke sind nicht unbedingt beweisend für vertikale Bodenbewegungen (als Vorläufer der mittelkretazischen Gebirgsbildung). Plötzliche Verlagerungen von Strömen, die terrigenes Material vom Festland in größerer Menge mitbrachten, können ebensogut die Ursache gewesen sein. Damit würde auch der übergangslose Wechsel zwischen Mergel und Kalksandbank besser erklärt sein als durch Veränderungen der Meerestiefe. Auch das Auftreten in räumlich oft sehr beschränkten Linsen spricht gegen Bodenbewegungen.

Von besonderem Interesse ist der Fund eines kleinen Kohlenflözes im Neokom des Fermersbaches bei der Brandlalm. Die größte Mächtigkeit des Flözes beträgt knapp 10 cm, die größte beobachtete Länge über 100 m, ohne damit einen Abschluß erreicht zu haben. Die Breite ist wegen der senkrechten Schichtstellung nur auf 2 m zu verfolgen. Zwischen die Neokommergel und die Kohle schalten sich in der Regel Schwefelkieslagen, -linsen oder -knollen ein, was auch innerhalb der Kohle häufig stattfindet. Stellenweise ist daher die Holzstruktur durch Schwefelkies ersetzt, wodurch eine vorzügliche Untersuchungsmöglichkeit geschaffen ist.

Die Kohle ist eine Mattkohle, bei der die ursprüngliche Holzstruktur prachtvoll erhalten ist, sodaß man die Holzfasern, Markstrahlen und Gefäße schon am unbehandelten ursprünglichen Material mit schwachen Vergrößerungen erkennen kann. Einzelne verkohlte Holzstücke sind unzerbrochen in einer Dicke von 5 cm und einer Länge von mehr als 10 cm erhalten, sodaß hier stellenweise

ein einziges Holzstück die gesamte Mächtigkeit des Flözes darstellt. An anderer Stelle erkennt man im Profil, daß sich mehrere, verschieden dicke Holzstücke (Äste und Stämme) an dem Aufbau des Flözes beteiligen. Einmal wurde auch ein isoliertes rundes Aststückchen von 1 cm Durchmesser und 2—3 cm Länge gefunden.

Die mikroskopische Betrachtung des An- und Dünnschliffes ergibt ein deutliches Bild der Zell- und Gefäßstrukturen, die große Ähnlichkeit mit dem Schliffbild REISER^s (1920, S. 146) haben. Sein Material stammt aus dem Gaultsandstein des Allgäu. Nach SCHUSTER^s Bestimmung „handelt es sich um ein Holz, das in seiner Struktur sehr an Araliaceen erinnert und jedenfalls immergrünen tropischen Laubbäumen angehört“.

Die Entstehung des zweifellos allochthonen Flözes ist wohl durch Ansammlung (tropischer) Hölzer an einer stromgeschützten Stelle des flachen Neokommeres zu erklären. Es wird damit zu einem weiteren Beleg der Flachseenatur des Neokommeres, erlaubt aber keinerlei unmittelbare Rückschlüsse auf die Klimaverhältnisse, weil der Spielraum für Treibholzverfrachtung zu groß ist.

Kohlenflöze aus dem Neokom der Alpen sind meines Wissens bisher noch nicht bekannt gewesen. PIA (1912, S. 575) fand im Höllengebirge in Neokomsandsteinen einige „eckige Kohlenstückchen“, über deren Größe er nichts aussagt. Vielleicht handelt es sich hier lediglich um isolierte verkohlte pflanzliche Reste, wie sie ja fast regelmäßig in den sandigeren Lagen auftreten und oft beschrieben sind.

Quartär.

Das Quartär meines Gebietes ist hauptsächlich von PENCK (1922 und 1925) auf Grund jahrelanger Begehungen einer eingehenden und grundlegenden Bearbeitung unterzogen worden, die die Mittenwalder Gegend zu einer der bestbekanntesten der ganzen Alpen gemacht hat. Nur an wenigen Stellen gelangen mir neue Beobachtungen, die sich jedoch völlig in das von PENCK entworfene Bild einfügen. Es bleibt deswegen nur übrig, in gedrängter Übersicht die wesentlichsten Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen (v. KLEBELSBERG, LEYDEN, v. WOLF und PENCK) zusammenzufassen.

Die ältesten quartären Ablagerungen des Gebietes stammen aus der Mindelzeit. Es sind tillitartige Moränen mit wenigen, aber gut gerundeten (gekritzten) Geschieben rein kalkalpiner Herkunft (Wettersteinkalk, Muschelkalk, Raibler-Schichten). Wo sie auftreten (zwischen Hochlandhütte und oberer Kälberalm in 1550 m und am Mitterkar in 1600 m Höhe) bilden sie das Liegende der Hochlandbreccie (vgl. die Profile bei PENCK, 1925, S. 333).

Die einheitliche Bildung des Mindel-Riß-Interglazials hat PENCK (1925) unter dem Namen Hochlandbreccie zusammengefaßt. Schon ROTHPLETZ (1888, S. 70) waren die fest versinternten, voneinander getrennten Vorkommnisse im Quellgebiet des Kälberalpbaches bekannt. Es sind stark verkittete, zu Karrenfeldern Anlaß gebende Breccien, die nur aus kalkalpinem Material (Wettersteinkalk, Muschelkalk, Raibler-Schichten) bestehen. Die Größe der eckigen Trümmer schwankt zwischen Haselnußgröße und mehreren Kubikmetern. Am Lerchenstock findet sich in der Breccie ein unversehrtes geschich-

tetes Paket Wettersteinkalk von mehreren Metern Länge und über einen Meter Dicke. Den großartigsten Aufschluß bildet die Westwand des Vorkommens am Lerchenstock. In etwa 50 m Mächtigkeit erscheint hier die Schuttmasse durch lagenweise wechselnde grobe und feinere Trümmer undeutlich geschichtet. Die Bänke fallen mit 10—20 Grad nach Nordwesten, es fehlt ihnen also die „nährende Wand“. Ebenso am Wörnergrat. Auch hier krönt die Breccie (bis zu 10 m mächtig und bis 60 m lang) den Grat; nur auf der Westseite reicht sie etwa 150 m tiefer hinab. Das gleiche Bild wiederholt sich auf dem Riedel, der die obere Kälberalm und die Hochlandhütte trägt, und auf dem oberen Ochsenboden. Lediglich das Vorkommen bei den Wasserfällen nordöstlich der Hochlandhütte und das im nördlichen Kälberalpelbach tragen nicht mehr so deutlich den Stempel von auf Kämmen gelegenen Erosionsresten. Die Hochlandbreccie erfüllte also ursprünglich die ganze Wanne des Kälberalpelquellgebietes vom oberen Ochsenboden bis zum Wörnerkopf mit einem einheitlichen, an den speisenden Wänden mächtigsten, gegen das Innere an Mächtigkeit abnehmenden Schuttmantel. WEHRLI (1928, S. 371) hat wohl recht, wenn er die PENCKsche Ansicht, die Hochlandbreccie sei größtenteils eine durch Wildbäche erfolgte Talzuschüttung, einschränkt. Sicher trifft das nicht für die Stellen zu, an denen die Liegendmoräne erhalten ist. Heute sind die Vorkommnisse durch Täler von über 200 m Tiefe getrennt, in denen Würmmoränen liegen. Die Täler sind also älter als die letzte Vergletscherung.

Zum Rißglazial gehört eine Grundmoräne im Liegenden der Viererspitzebreccie am Weg Raineckwald—Untere Kälberalm zwischen 1100 und 1150 m, in der schon PENCK seltene zentralalpine Geschiebe fand.

Größere Bedeutung gewinnen die Bildungen des Riß-Würm-Interglazials. Insbesondere das Problem der Viererspitzebreccie hat von PENCK (1925, S. 332) eine klare und überzeugende Lösung gefunden, die sich überall bestätigen ließ. Neuerdings hat WEHRLI (1928, S. 372—375) die PENCKsche Ansicht über das verschiedene Alter von Viererspitze- und Hochlandbreccie angezweifelt. Er hält beide Breccien für ursprünglich zusammenhängende gleichaltrige Gebilde des Riß-Würm-Interglazials, und zwar aus Gründen, die auf den ersten Blick überzeugend klingen: Die Verschiedenheit in der Zerstörung der Hochland- und Viererspitzebreccie ist durch die örtlich verschiedene Erosion zu erklären. Ich kann mich dieser Ansicht nicht anschließen. Die großen morphologischen Unterschiede, das Fehlen der „nährenden Wände“ bei der Hochlandbreccie, die viel stärkere, zu Karrenfeldern Anlaß gebende Ver kittung der Hochlandbreccie und die scharfe Grenze zwischen beiden in Auftreten und Erhaltung verschiedenen Gebilden veranlassen mich, an der PENCKschen Auffassung des verschiedenen Alters festzuhalten. Typische Deltabildungen sind am unteren Rande des Seinsbaches aufgeschlossen. In steiler Klamm durchbricht der Bach, etwa 100 m nachdem er den Hauptdolomit in unpassierbarer Schlucht verlassen hat, sein eigenes Delta, das aus einer Serie festver kitteter Geröllagen besteht. Die Bänke fallen etwa 25 Grad N. Kristalline Geschiebe konnte ich nicht finden. Im Hangenden schalten sich allmählich mächtiger werdende Bänkchen von Seeton („Kreide“) ein, wie sie auf dem linken Isarufer in großen Brüchen gewonnen und zur Kittfabrikation verwendet werden. Die Seetone gewinnen schließlich die Überhand und erreichen 5—10 m Mächtigkeit, darüber liegen wieder fest ver kittete Geröllbänke. Bei der Ochsenhütte ist die innige Verzahnung von Deltaschottern mit Seetonen an beiden Bachhängen vorzüglich aufgeschlossen. Weniger instruktiv sind die Deltas des

Hüttle- und Felsengrabens im Norden und des Marinorgrabens und Gassellahn-baches im Süden. Die Seetone sind von PENCK zum Gegenstand besonders ausgedehnter Untersuchungen gemacht worden. PENCK hat alle Seetenvorkommen (in unserem Gebiet sind die wichtigsten: Viehweide des Seinsbaches und Isarufer südlich Hüttlegraben) zwischen Mittenwald und Tölz als Ablagerungen in einem einheitlichen Interglazialsee zusammengefaßt, der mit einer Länge von über 50 km das Isartal erfüllt und einen mehrere Kilometer langen Seitenarm in die Jachenau erstreckt haben soll. Von anderer Seite (LEYDEN 1924, S. 206) sind allerdings Einwände dagegen erhoben worden. Von den Seiten her sind allenthalben die Deltas in den See aufgeschüttet worden, wie es besonders schön am Seinsbach zu sehen ist. Im Hangenden machen die Seetone fluviatilen Schottern Platz, die ihrerseits wieder gelegentlich Reste von Würmmoränen tragen.

Der Würmeiszeit gehören die verschiedenen zum Teil prachtvoll entwickelten Ufer- und Grundmoränen an, die im Quellgebiet des Kälberalpbaches allenthalben auftreten und ihre Entstehung drei verschiedenen Gletschern (dem Dammkar-, Mitterkar- und Steinklappenkar-Gletscher) verdanken. Der aus dem Wörnerkar kommende Gletscher teilte sich auf dem Sattel der Vereinsalm hammerförmig in zwei Äste, von denen der eine im Bett des Seinsbaches, der andere im Moosgraben und (nach der Vereinigung mit dem Hufachgletscher) im Hufachgraben und Fermersbach mächtige Moränen und fluvio-glaziale Schotter hinterließ.

Spuren des Gletscherzerfalls im Haupttal sind die kleinen Ufermoränenwälle am Rehbergwald und an der Mündungsstufe des Gassellahn-baches. Von besonderem morphologischen Interesse sind die zum Teil in den Fels genagten Terrassen auf dem Westhang des Lausberges und Seinskopfes. Sie sind bei dem rhythmischen Abschmelzen des Hauptgletschers durch seitliche Schmelzwässer nach Art der Urstromtäler entstanden.

In den Seitentälern sind Spuren des Zerfalls in den glazialen Stauseeablagernungen erhalten, die sich in den Lücken der Vereisung bilden konnten. Solche Stauseen bestanden im Gebiet in sämtlichen drei Hauptentwässerungssystemen. Im Gassellahnbach finden sich Seetone unweit der unteren Kälberalm am Zusammenfluß mit dem Kälberalpbach in 1100 m, im Seinsbach zwischen 1250 und 1350 m und im Fermersbach bei der Brandelalm in 1190 m Höhe. Dieses letzte, in über 50 m hoher Wand großartig aufgeschlossene Vorkommen gleicht in einzigartiger Weise der finnischen Salpausselkä, wie PENCK dargestellt hat. Ein anderer Stausee lag im Seinsbach, wo er an der Mündung des Lausgrabens bis 20 m mächtige Seetone nicht wie bisher auf Moränen, sondern auf Schottern ablagerte. Diese Lagerung Seeton auf Schotter ist „charakteristisch für das Herannahen, nicht für das Schwinden einer Vergletscherung“. Über einigen dieser spätglazialen Stauseen liegen wieder Moränen, die PENCK durch einen „mechanischen Vorstoß“ der vorher hoch aufgestauten kalkalpinen Gletscher erklärt.

Die glazialen Rückzugsstadien lassen sich nach der Art ihres Auftretens in ihrer Höhenlage zwanglos dem Gschnitz- und Daunstadium zurechnen. Die Endmoränen des Gschnitzstadiums zeigen gelegentlich noch vorzüglich die Anordnung in zwei hintereinander gelegene Moränenwälle, aber meistens schalten sich zwischen die beiden Stadien noch kleinere End- und Ufermoränen ein.

Zum G s c h n i t z s t a d i u m gehören alle die Endmoränen in 1100—1400 m Höhe, die im Kälberbachgebiet, auf dem Vereinsalmsattel, im Hufachgraben und im Schlag der Karwendelkette vorgelagert sind. Im Soierngebiet gehören die Wälle im Soiernkessel, im Schöttelkar, bei der Hundstallhütte, im Krapfen-, Mitter- und Baierkar sowie der tiefer gelegene Wall im Steinkarl ebenfalls dem Gschnitzstadium an.

Die Endmoränen des D a u n s t a d i u m s liegen sämtlich unmittelbar unter den Nordwänden in nächster Nähe der oft perennierenden Schneeflecken. Eine ganz geringe Klimaverschlechterung würde ihre Gletscher wieder aufleben lassen. Daunmoränen liegen im Damm-, Mitter-, Steinklippen- und Wörnerkar, am Thomasalpel, unter den Wänden der Raffel-, Bärnalpel- und Schlichtspitzen. Im Soierngebiet rechne ich außer dem Endmoränenwall an der Soiernlake noch kleine Wälle im Steinkarl nordöstlich der Soiernspitz und im Krapfenkar nördlich der Gumpenkarspitz zum Daunstadium.

Die Verbreitungslinie der kristallinen G e s c h i e b e ergibt die auf den ersten Blick überraschende Tatsache, daß im Mittenwalder Tor kristalline G eschiebe in geringerer Höhenlage (etwa 1050 m) auftreten als im nördlichen Vorland (in der Nähe des Seinskopfes bis 1300 m). PENCK gibt dafür die einleuchtende Erklärung, daß im Mittenwalder Tor das zu beiden Seiten eng zusammengepreßte Karwendeleis ein Zusammendrücken des Inntaleises auf eine relativ schmale mittlere Zone verursachte (s. Profil 1925, S. 305), während im Vorland eine Ausbreitung des Eisfächers stattfinden konnte. Beim Zerfall der Vergletscherung, der die kleinen kalkalpinen Gletscher der Seitentäler stärker betreffen mußte als den mächtigen Hauptgletscher des Isartales, erfolgte ein Vorstoß des zentralalpines Eises in die von den lokalen Gletschern befreiten Seitentäler. Dadurch wurden zentralalpine G eschiebe in den Seitentälern höher hinauf verfrachtet, als es beim Höchststand der Vergletscherung möglich war. Solche „abgeirrte“ zentralalpine G eschiebe finden sich bei der unteren Kälberalm und im Seinsbach an der Mündung des Lausgrabens. PENCK hat wichtige Gründe angegeben, warum die von WOLF angenommene Überflutung der Vereinsalm durch zentralalpines Eis nicht möglich war. Auch ich konnte kein kristallines Geröll auf dem Sattel der Vereinsalm nachweisen, lediglich im Fermersbachbett, etwa einen Kilometer unterhalb der Brandelalm, und von da bachabwärts mit steigender Häufigkeit fand ich einige kristalline Gerölle, die ich im Sinne von PENCK als „abgeirrte“ G eschiebe des Rißtalglatschers auffasse. FELS (1929, S. 50) will dem Haupttalglatscher derartig beträchtliche Leistungen nicht zumuten und hält eine Nachprüfung dieser Frage für erforderlich.

Im A l l u v i u m entstanden die jungen Talböden und die mächtigen Gehängeschuttbildungen, deren Entwicklung stetig fortschreitet. Daneben treten starke Veränderungen des Landschaftsbildes nur noch durch gelegentliche kleinere Bergstürze und die besonders im Hauptdolomit verheerend wirkenden Schuttströme ein.

Zu erwähnen sind noch zwei D o l i n e n, von denen die eine (die westliche Karwendelgrube, etwa 60 m tief) schon von FELS (1921, S. 15) erwähnt wurde. PENCK (1925, S. 45) möchte ihr ein höheres Alter zuschreiben und sieht in ihr einen Rest einer alten Karsthochfläche. Eine zweite, viel kleinere Doline ist die Felderngrube nordwestlich vom Feldernkopf, die wohl erst nacheiszeitlich entstanden ist. Wenn MÄRZ (1904) auch die Nische der Soiernlake als Doline auf faßte, so entspricht diese irrige Ansicht der damaligen Unkenntnis des tektonischen Baues des Soiernkessels.

Tektonik.

Die vordere Karwendelkette stellt einen nach Norden überkippten Sattel von fast durchweg ostwestlichem Streichen dar. Der Sattel ist im First zerbrochen und sein Südflügel auf den Nordflügel überschoben. Der ganze Südflügel besteht aus einer nach Süden stark abgebogenen, auf dem Kamm fast horizontal liegenden Platte von Reichenhaller Schichten, Muschelkalk und Wettersteinkalk, auf dem Nordflügel überwiegt saigere Stellung. Im First sind ältere Schichtglieder herausgepreßt und bilden das bezeichnende Band zerquetschter Reichenhaller Schichten, die damit zu einem außerordentlich wichtigen tektonischen Leitglied werden. Die Massive der Viererspitze, Kreuzwand und der Wettersteinkalk des Dammes sind die westlichsten und mächtigsten Reste des überkippten Nordflügels. Der Stock des zweiten und dritten Karwendelkopfes stellt eine im First eingesunkene Scholle dar, die von den Reichenhaller Schichten und dem Muschelkalk des Südflügels (nördliche Linderspitze, Mitterkreuz und erster Karwendelkopf) überfahren wird (s. Abb. 7). Der Nordflügel findet seine Fortsetzung am Predigtstuhl, erscheint gerade noch am Steinklippengrat und verschwindet dann völlig unter dem Wörner und der Hochkarspitze, sodaß hier die gesamte Kette lediglich vom überschobenen Südflügel gebildet wird. Erst unter der Raffelspitze taucht, wiederum getrennt durch das Reichenhaller Band, eine nördliche Schuppe an einer Verwerfung auf, gewinnt an Ausdehnung und bildet in der Steinkarlspitze bereits einen selbständigen Vorgipfel.

Die Tektonik der vorderen Karwendelkette erscheint nach dieser von Norden bis zur Reichsgrenze gehenden Betrachtungsweise einfach und übersichtlich. Folgen wir allerdings ROTHPLETZ und AMPFERER auf die Südseite, so treffen wir hier auf Verhältnisse, die das klare Bild völlig zerstören. Westlich der Raffelspitze erscheint zwar ganz normal unter dem die Gipfel bildenden Wettersteinkalk der Muschelkalk und darunter die Reichenhaller Schichten. Östlich des Bärnalpels dagegen liegen die Verhältnisse gerade umgekehrt. Über dem die Gipfel bildenden Wettersteinkalk folgen im Süden der Muschelkalk und darüber die Reichenhaller Schichten. Hier herrscht demnach überkippte Lagerung. Die Grenzzone zwischen der normalen Lagerung im Westen und der überkippten im Osten bildet nach ROTHPLETZ und AMPFERER das Bärnalpel. Hier soll nach ROTHPLETZ der an einer gewaltigen Längsspalte zerbrochene Sattelfirst um zwei Kilometer nach Süden verschoben und der Nordflügel in zwei überkippte Schuppen zerlegt sein, eine nördlichere, die unter dem Reichenhaller Rauhwackenband auftritt und die Steinkarlspitze bildet, und eine darüberschobene südlichere, die den gesamten Stock vom Bärnalpelkopf bis zur Karwendelspitze und die östliche Fortsetzung aufbaut. AMPFERER (1903) läßt, von Osten kommend, ebenfalls mit der Raffelspitze die 3. Schuppe (den normalen Südflügel des Sattels) ihren endgültigen Sieg über die nördlich darunter verschwindenden Schuppen davontragen, ohne sich im einzelnen über das Wie auszulassen.

Ich kenne das in Frage stehende Gebiet (Südhänge der Raffelspitze und Bärnalpelscharte und die Nordwände der hinteren Karwendelkette) zu ungenügend, um ein Urteil über die Zulässigkeit und Richtigkeit der ROTHPLETZschen und AMPFERERschen Ansicht abzugeben, es scheint aber eine eingehende Nachprüfung dieser Frage um so eher erforderlich, als nach dem Befund auf der Nordseite die Trennungslinie zwischen den beiden (dieselbe

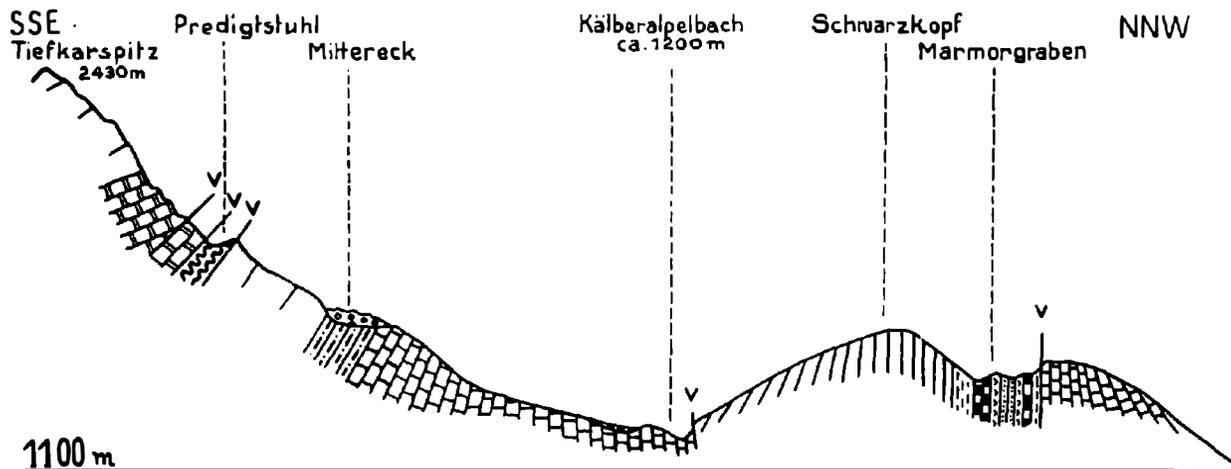
Kette aufbauenden, aber grundverschieden gebauten) Stöcken nicht, wie beide Forscher annehmen, auf der westlichen Begrenzung des Bärnalpels verlaufen darf, sondern durch die Raffelspitz gehen muß. Denn an dieser Störung verschwindet auf der Nordseite das Reichenhaller Band, das die beiden durch die Scharte getrennten Gebirgsstöcke über das Bärnalpel hin untrennbar verbindet.

Neuerdings hat AMPFERER (1928) den Bau des gesamten Karwendels auf eine große Bauformel, die Reliefüberschiebung, gebracht. Die Tektonik des kartierten Gebietes würde nach dieser Ansicht folgendes Bild ergeben: Der Mittenwalder Gebirgsstock mit Viererspitz und Kreuzwand und seine Fortsetzung über den Predigtstuhl zum Steinklippengrat ebenso wie der unter den Wänden der Raffelspitz bis zur Steinkarls spitz nördlich des Reichenhaller Bandes austreichende Wettersteinkalk (also nach der bisherigen Ansicht: der überkippte Nordflügel) stellen Teile eines großen Wettersteingewölbes des Grundgebirges (der Lechtaldecke) dar. Über dieses von der Erosion tief zernagte Gewölbe schob sich später die Karwendeldecke, deren heutiger Stirnrand durch die Linie Nördliche Linderspitz — Mitterkreuz — Wörner — Raffelspitz gekennzeichnet ist. Östlich der Bärnalpelscharte ist die Nordfront der Karwendeldecke überkippt. Die Schubmasse der Karwendeldecke, die im Bereich der Wörnerspitz „über den Wettersteinwall des Grundgebirges bis zum nördlich davon gelegenen Hauptdolomit“ vordrang, verursachte hier „ganz gewaltige Mylonitisierungen, die das ganze Hauptdolomitgebiet im Süden der Vereinsalpe beherrschen“.

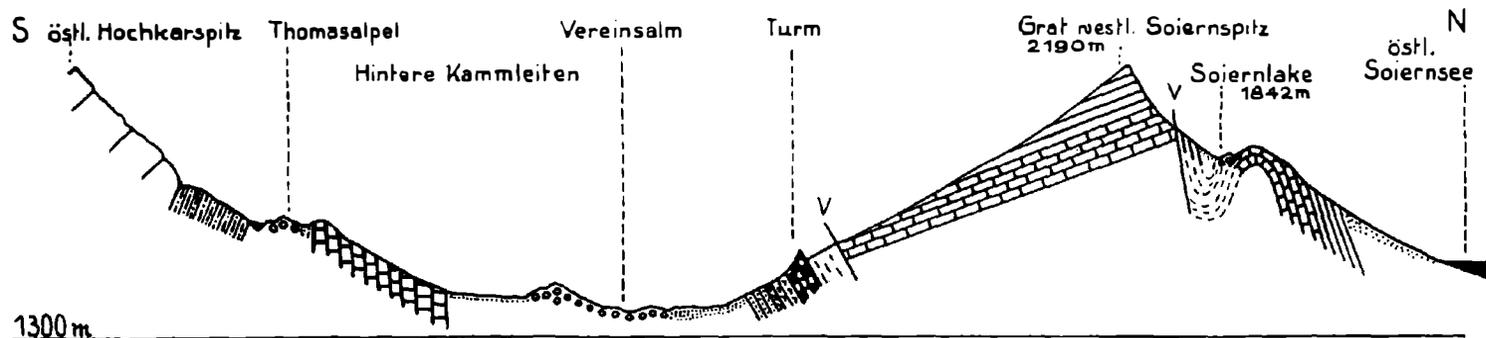
Diese letzte Behauptung wird den Tatsachen nicht gerecht. Zwar befindet sich am Fuß vom Wettersteinmassiv des Wörners auf dem Grat ein Mylonit von etwa 20 m Mächtigkeit (nach der bisherigen Ansicht hervorgerufen durch den Ausfall des Sattelnordflügels), daran bis zur Vereinsalm schließt sich aber ein Komplex von Hauptdolomit, der keineswegs abnormal zertrümmert ist. Im Gegenteil ist gerade in den Wänden des Wörnergrates und der Kammleiten die ursprüngliche Schichtung in hervorragender Weise erhalten. Stellenweise treten sogar kompakte und kaum zertrümmerte Dolomitbänke auf, auch die Fossilfunde auf den Kammleitenwänden und dem Wörnerkopf beweisen eine für den Hauptdolomit ungewöhnlich geringe tektonische Beanspruchung.

Im Bereich des kartierten Gebietes wird mit der Übernahme der Reliefüberschiebungs-Hypothese die Tektonik nur erschwert und noch verwickelter als es nach der bisherigen, auf ROTHPLETZ zurückgehenden Ansicht der Fall war. Eine einleuchtende Lösung der Schwierigkeiten (vor allem das Nebeneinander von Überkipfung und normaler Lagerung bei gleich weitem Deckenschub im Bereich der Bärnalpelscharte) wird aber auch mit der neuen Theorie nicht erzielt. Ob die Reliefüberschiebung im übrigen Karwendel zutrifft, kann ich nicht entscheiden.

Der Bau der Mittenwalder Karwendelmulde, einer der vollständigsten Mulden der Ostalpen, ergibt sich im wesentlichen aus der Karte. Im Westen ist die Kreidemulde an einer Isartalrandspalte gegen einen Klotz ostfallenden Hauptdolomits verworfen. Zwischen zwei Längsspalten zusammengepreßt, beginnt sie mit kaum 150 m Breite. An den nun folgenden Querbrüchen erreicht sie bald größere Mächtigkeit und Vollständigkeit der einzelnen Schichtglieder. Nur im Norden ist der Plattenkalk an einem Längsbruch ausgequetscht (Profil 1). Zwei bevorzugte Bruchsysteme (NNW—SSE und SW—NE) zerstückeln die Mulde keilförmig, ja verursachen sogar nordwestlich der Jagdhütte



Profil 1: Querprofil durch den westlichen Teil des Gebietes. Der Sattelsüdfügel der vorderen Karwendelkette (Tiefkarspitz) ist über den Nordflügel (Predigtstuhl) überschoben. Die Kreidemulde ist im Marmorgraben fast vollständig erhalten, nur der Plattenkalk des Nordflügels fehlt. Am Mittereck lagert ein Erosionsrest der Hochlandbreccie (Mindel-Riff). Maßstab 1:25000, nicht überhöht.



Profil 2: Querprofil durch die Mitte des Gebietes. Steile Lagerung südlich, vorwiegend flache Lagerung nördlich der Kreidemulde, deren Südfügel in der Nähe der Vereinsalm durch Gschnitzmoränen verdeckt ist. Die Daunmoränen (Thomasalpe und Soiernlake) verraten sich durch ihre Höhenlage unter den Nordabstürzen der vorderen Karwendelkette und der Soiernspitz. Maßstab 1:25000, nicht überhöht.

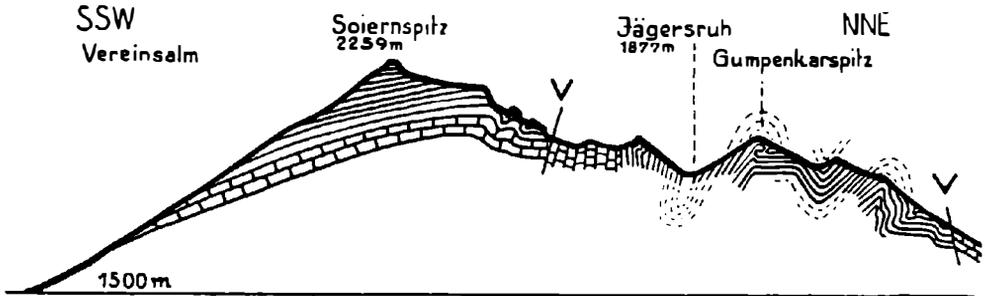
am Zunderweidkopf eine Schleppung der harten Liaskalke, wobei auch die Kössener Schichten ausfallen. An einem weiteren Querbruch, einer der längsten Störungslinien des Gebietes, erscheinen bei zunehmender Breite der Mulde im Norden die Kössener Schichten wieder. Weiter im Osten verschwindet die Mulde unter dem Schutt und den Moränen des Vereinsalmsattels, und nur am Nordrand tauchen unter der Sonntagsweide einige Reste des Nordflügels immer noch ohne Plattenkalk auf. Der weit nach Norden vorspringende Hauptdolomit des Kammlaitenkopfes beweist, daß die Mulde am Vereinsalmsattel wieder eine Zusammendrückung erfahren haben muß. Vom Marmorgraben bis zur Vereinsalm herrscht vorwiegend Ost-West-Streichen und senkrechte, wohl auch etwas nach Norden überkippte Stellung. Zwischen Vereinsalm und Jöchl fand eine starke Zerreißen und Schrägstellung der Mulde statt, die hier mit nordöstlichem Streichen zwischen Bruchspalten geschleppt ist. An einer großen Querstörung wird der Muldenkern noch einmal um fast 2 Kilometer nach Norden verschoben, wo dann die Mulde ihre endgültige Mächtigkeit gewinnt und durch Hinzutreten des Plattenkalkes im Nordflügel endlich vollständig wird. Noch einmal tritt auf dem rechten Fermersbachufer eine kleine Querverschiebung ein und von da ab fällt an einem Längsbruch der Lias des Südflügels aus.

Die Kreidemulde wiederholt also im Großen die Tektonik der Karwendelkette. Das Stück vom Marmorgraben bis zur Brandelalm entspricht in seiner im ganzen ostnordöstlichen Richtung der Karwendelkette vom Mitterkreuz bis zum Wörner, von da ab herrscht in Sattel und Mulde reines Ostweststreichen. Das weit vorspringende Wörnermassiv ist die Ursache der Muldenverschiebung von der Vereinsalm zur Brandelalm.

Sattel und Mulde gehören also auch tektonisch zu ein und derselben Einheit, die von gleichen Ursachen in gleicher Weise beansprucht worden ist. Es geht deshalb keineswegs an, daß (wie KOBER 1923, S. 147, will) Mulde und Sattel verschiedenen Decken zugeschrieben werden (Lechtal- bzw. Inntal-Decke) und die Überschiebungslinie in den Hauptdolomit (des Muldensüdflügels) gelegt wird. Das Zurückweichen von Mulde und Sattel gegen das Isartal scheint aber nichts anderes zu sein als eine ganz großartige Schleppung, die das Karwendel beim Süd-Nord-Schub an der Isartalspalte erlitt. Im westlichen Karwendel wiederholt sich also eine Erscheinung, die sich am ganzen Nordrand der Alpen verfolgen läßt: die allmähliche Vorstaffelung des Alpenrandes, wie sie sich im kleinen in der zerstückelten Karwendelmulde widerspiegelt. Darin liegt der Schlüssel der gesamten Tektonik des Gebietes, sie ist der Grund der starken Zerquetschung und Zerstückelung der westlichen Kreidemulde, durch sie finden alle die SW-NE-Komponenten, die sich in vielen, zumal den größten Verwerfungen äußern, ihre Erklärung.

Das Soierngebiet verdient eine gesonderte Besprechung, weil sich hier große Abweichungen von der bisherigen Auffassung herausgestellt haben. ROTHPLETZ stellte das Soierngebiet als ein ringsum von Bruchlinien begrenztes einheitliches Areal von mächtigem Plattenkalk dar. Dieser herrschenden Meinung schlossen sich alle späteren Bearbeiter des Gebietes an. Unsere Untersuchungen ergaben eine viel größere Ausdehnung des Hauptdolomits im Soierngebiet nicht nur auf der Südseite von Soiern- und Krapfenkarispitz, sondern auch im Kessel selbst, wo der Hauptdolomit sogar eine Mächtigkeit von über 100 m erreicht. Profil 2 zeigt einen Schnitt von der Vereinsalm zum östlichen Soiernsee: An die Kreidemulde schließt sich nördlich eine schwach nach Süden fallende Platte (der Südflügel eines Sattels) von Hauptdolomit an, die von

einem Paket von Plattenkalk gekrönt ist. Der Nordflügel dieses Sattels ist zerbrochen und ausgequetscht. Statt dessen erscheint hier eine kleine Mulde, die zur Bildung der Soiernlake Anlaß gegeben hat. Auf dem unmittelbar anschließenden Sattel ist der Plattenkalk wegerodiert und der Hauptdolomit taucht darunter auf, um sogleich wieder unter der folgenden Mulde zu verschwinden, über deren Kern der Soiernsee liegt.



Profil 3: Querprofil durch das östliche Soierngebiet. Das in seiner Ausdehnung bisher sehr überschätzte Plattenkalkvorkommen des Soierngebietes bildet einen nur relativ geringmächtigen Erosionsrest. Der liegende Hauptdolomitstreicht auch im Soiernkessel an mehreren Stellen zu Tage (s. a. Profil 2). Das Gebiet der Jägersruh und Gumpenkarspitz zeigt modellartig die Abhängigkeit der heutigen Oberfläche von dem Faltenbau des Untergrundes.
Maßstab 1 : 25 000, nicht überhöht.

Das etwas weiter östlich liegende Profil 3 läßt nunmehr deutlich das Gewölbe unter der Soiernspitz erkennen. Die kleine, nördlich vorgelagerte Mulde der Soiernlake (des Profils 2) ist ausgequetscht und es erscheint erst wieder der von Hauptdolomit (60—80 m mächtig) und Plattenkalk gebildete Nordflügel des folgenden Sattels. Die daran anschließende Mulde der Jägersruh ist die östliche Fortsetzung der Mulde der Soiernseen. Im Norden bildet der Plattenkalk noch einmal zwei kleine Sättel, die zu einer eigenartigen Morphologie Anlaß gegeben haben (s. Abb. 1 und 3).

Seinen Abschluß im Westen findet der Plattenkalk an einer Verwerfung, die am Feldernkreuz so flach liegt, daß sich hier eine lokale Überschiebung nach Norden von mehreren hundert Metern Schubweite entwickeln konnte (s. Abb. 5). Eine ähnliche, aber viel kleinere Überschiebungsschuppe bildet der Gipfel der Soiernschneid. Bei geeigneter Abendbeleuchtung kann man an seiner Westseite erkennen, wie der Mittelschenkel eines kleinen, liegenden Sattels nach dem Hangenden immer mehr ausgequetscht wird, um schließlich in eine etwa 45 Grad S fallende Überschiebungsfläche überzugehen.

Eine andere kleine tektonische Besonderheit bietet der Aufstieg zum Predigtstuhl, dem Vorgipfel der Tiefkarspitz, der das begrünte, ausgewitterte Band zerquetschter Reichenhaller Schichten benutzt, die im Norden durch eine Reihe kleinerer Verwerfungen von Wettersteinkalk getrennt sind. Eine dieser Verwerfungen zeigt kurz unterhalb des Nordwestgrates eine bruchlose Umbiegung um 90 Grad (s. Abb. 12).

Die Isartalrandspalten sind fast alle unter Schutt begraben. Nur nordwestlich der Aschauer Kapelle tritt eine an einem vorspringenden Hauptdolomithügel zutage.

Morphologie.

Das allgemeine Verhalten der am Aufbau unseres Gebietes beteiligten Sedimente gegenüber den Einflüssen der Erosion ist so oft in Einzelarbeiten und Lehrbüchern beschrieben worden, daß auf eine Wiederholung verzichtet werden kann. Es sei deshalb die Darstellung auf die für das Gebiet bezeichnenden morphologischen Leitformen und ihre Abhängigkeit von Stoff und Tektonik beschränkt.

In schroffem Gegensatz zu den zerklüfteten, vegetationslosen, nur von dem schmalen begrünten Band der weichen Reichenhaller Schichten unterbrochenen Ketten des Wettersteinkalkes stehen die sanften bewaldeten Hügel des Vorlandes (s. Abb. 8), die nur gelegentlich durch Schuttreißen oder Wände reicher gegliedert werden. Allerdings da, wo der ostweststreichende, senkrecht stehende Hauptdolomit von Quertälern durchbrochen wird, bildeten sich ungemein zer-rissene und brüchige Wände heraus (Ostabfall des Wörnergrates, vordere und hintere Kammleitewände, Fermersbachwand, Wechselkopf, Rappenklamm).

In seiner Oberflächengestaltung ähnelt der Hauptdolomit stark dem Plattenkalk: bei flacher Lagerung neigen beide zur Bildung von Felsterrassen und Bastionen. Die Sonntagsweide ist ein bezeichnendes Beispiel für den Plattenkalk, die Südhänge des Seinskopfes und der Baierkarspitz-Fermerskopf solche für den Hauptdolomit. Bei steiler Stellung herrscht bei beiden ausgeprägte Wandbildung. Die wichtigsten Wände des Plattenkalks (s. Abb. 10) zeigen ebenfalls eindringlich die Abhängigkeit von der Tektonik. Die Plattenkalkwände des Marmorgrabens, der Kleinkarspitze und am Jöchl sind an den senkrecht stehenden Muldensüdflügel gebunden. Die morphologische Reichhaltigkeit des Soierngebietes ist die Folge der fast bruchlosen Faltungsvorgänge, wie sie aus den Profilen und Abbildungen erhellen.

Im Soierngebiet ist die unmittelbare Abhängigkeit der Oberflächenformen von der Tektonik sehr klar und eindeutig: Jede Einsattelung, jede Scharte, jedes Tal (Soiernseen, Jägersruh, Soiernlake, Krapfenkar, Mitterkar, Neulöhner Kar) entspricht einer tektonischen Mulde, jeder Gipfel und Kamm (Soiernspitz, Gumpenkarspitz, Krapfenkarspitz usw.) einem Sattel; wo die Verwerfungen größere Sprunghöhe erreichten, entstanden großartige Wandfluchten (die Nordabstürze von der Soiernspitz zum Feldernkreuz). Größere Massenverluste durch Abtrag (die die bisherigen Ansichten über die Entstehung des Soiernkessels nur gewaltsam und mit großen Schwierigkeiten zu erklären vermochten) bestehen in Wirklichkeit im Soiernkessel nicht. Die kraterartige südliche Umrandung mit der schwach nach außen geneigten Böschung und den steilen Nordabstürzen ist dadurch hervorgerufen, daß ein überkippter Sattel im First zerbrach und sein Nordflügel absank.

Das ähnliche morphologische Verhalten von Plattenkalk und Hauptdolomit und ihre oft nur geringen Farbunterschiede sind die Ursache, daß der Hauptdolomit im Soiernkessel bisher übersehen wurde. Es gibt kaum sichere Merkmale, die aus größerer Entfernung die Wahrnehmung eines Unterschiedes ermöglichen. Nur eine Beobachtung betrog nie: nur im Hauptdolomitschutt kann die flüchtende Gemse auf allen Vieren größere Strecken „abfahren“, niemals im scherbigen, klingenden Plattenkalk.

Ein ganz andersartiges morphologisches Glied bildet die Kreidemulde: alle schroffen, unausgeglichenen Formen sind verschwunden, weiche Hügel mit

dichten Wäldern, sumpfige Wiesen und fette Almen treten an ihre Stelle. Nur wo junge Erosion tiefe Wunden gerissen hat, entstanden steile Wände und Schluchten. Trotzdem läßt sich auch innerhalb der Mulde eine Reihe bezeichnender morphologischer Merkmale, meist Züge von Härtingen, ermitteln. In den Kössener Schichten z. B. treten die Thecosmilien-Riffkalke gelegentlich, besonders schön im Bachbett südlich des Hirzneckgrabens, als leicht erkennbare Wälle in Erscheinung, vor allem aber bilden die harten Liaskalke wahre Mauern und Türme (s. Abb. 13), wie sie sonst der Muldenregion ganz fremd sind. Die Hornsteinbreccienbank des oberen Jura ist in unserem Gebiet wegen der geringen Mächtigkeit noch nicht recht zu einem durchgehenden morphologischen Leithorizont entwickelt, in der östlichen Fortsetzung unserer Mulde stellt sie jedoch wohl eines der bezeichnendsten Merkmale der ganzen Mulde überhaupt dar.

Verbindet man die wichtigsten Almen unseres Gebietes (Rehbergalm, Zunderweidkopf, Vereinsalm, Brandelalm) miteinander durch eine Linie, so bezeichnet diese den Verlauf des Neokoms im Muldenkern.

Die Kare des Gebietes, vor allem die der vorderen Karwendelkette, verdienen besonders deswegen eine kurze Erwähnung, weil sie von FELS zum Ausgangspunkt ausgedehnter Untersuchungen gemacht wurden, deren Ergebnis zu einer wesentlichen Änderung der herrschenden, auf E. RICHTER und A. PENCK zurückgehenden Ansicht über die Karbildung zwingt. Ich kann auf eine Einzelbeschreibung der Kare (es kommen in Frage: Dammkar, Mitterkar, „In der Wanne“, Steinklippenkar, Wörnerkar) verzichten, weil sie der Gegenstand einer kleinen Spezialarbeit von FELS (1921) waren. Bereits hier kam der zuerst von AMPFERER ausgesprochene, mittlerweile vielerorts bestätigte Gedanke der präglazialen Karbildung zum Ausdruck. In seiner jüngsten zusammenfassenden Karwendelarbeit (1929) hat FELS diesen Gedanken am Beispiel des gesamten Karwendels ausgeführt und überzeugend nachgewiesen, daß die „Architektur“ der Kare präglazial, nur die „Ornamentik“ glazialen Ursprungs ist: die Kare sind Talenden, die äußersten Verzweigungen eines durch Hebung ausgeschalteten (altmiozänen) Talsystems. Leider standen mir die Arbeiten von FELS erst nach Abschluß der Feldarbeiten zur Verfügung, so daß ich mich nur an Hand meines Bildmaterials mit seinen Gedankengängen auseinandersetzen konnte. Dabei kam ich zur Überzeugung, daß sich auch die mannigfaltigen Karbildungen des von FELS nicht bearbeiteten Soiergebietes (Schöttel-, Krapfen-, Mitter-, Baier-, Neulöhnerkar, Steinkarl, Wasserkar und die verschiedenen Kare des Soiernkessels) eindeutig in den neuen Rahmen einfügen.

Hydrographie.

Unser Gebiet entwässert in drei bevorzugten Richtungen nach der Isar. Nach Westen durch den Gassellahnbach, Marmorgraben und Seinsbach (Hüttle- und Felsengraben spielen nur eine untergeordnete Rolle), nach Norden durch den Fischbach, nach Osten durch den Fermersbach. Der Gassellahnbach verdankt seinen Wasserreichtum einem amphitheaterähnlichen Einzugsgebiet, dessen Quellenreichtum durch dichten Waldbestand begünstigt wird. Lediglich die über der Waldgrenze gelegenen Quellen im Hauptdolomit pflegen in heißen Spätsommern fast zu versiegen. Der Oberlauf des Seinsbaches ist im Hauptdolomit erstickt und nur nach starken Regengüssen fließt hier oberflächlich Wasser. Erst etwa in 1250 m Höhe tritt der starke Bach plötzlich ans Tages-

licht. Seine Hauptzuflüsse kommen dann aus der wasserreichen Mulde im Süden sowie aus dem Lausgraben, dessen Wasser erst in nächster Nähe des Seinsbaches als starke Quelle unter dem Schutt erscheinen. An der Reißenden Lahn durchbricht der Seinsbach einen Hauptdolomitriegel, der frühzeitig zur Anlage einer (heute verfallenen) Klause verlockt hat.

Das größte Einzugsgebiet hat der Fermersbach, dessen südliche Zuflüsse (Bärnbach, Hufachgraben und Sandbach) in ihren Oberläufen sämtlich unter Schutt von Hauptdolomit und Wettersteinkalk verschwinden. Der wasserreiche Moosgraben entwässert die sumpfige Moränen-Landschaft der Vereinsalm und bezieht einen starken Zufluß aus der Jöchlmulde. Bei der Brandlalm durchbricht der Fermersbach in prächtigen Mäandern einen alten Stausee und Moränenablagerungen; er bezieht aus einer Reihe von Zuflüssen viel Wasser aus der Mulde.

Der Soiernkessel und mit ihm die der Krapfenkarst vorgelagerten Nordkare entwässern zum Fischbach. Überall wiederholt sich das gleiche Bild: die Oberläufe sind verschüttet. Nur an wenigen Stellen tritt dauernd fließendes Wasser zutage. So an einer Schichtquelle im oberen Mitterkar und in einer starken Wasserader, die den östlichen Soiernsee speist und den Soiernhäusern das Trinkwasser liefert. Die Soiernlake hat keinen oberirdischen Abfluß, ihren unterirdischen Abfluß versuchte MÄRZ vergeblich durch Färbungen zu ermitteln. Dagegen tritt der unterirdische Abfluß der Soiernseen nördlich des Soiernriegels als starke Quelle zutage.

Auf dem Sattel der Vereinsalm ist durch die Endmoränenwälle eine kleine, von Norden gespeiste Wasserlake abgedämmt worden, deren Wasserspiegel mit den Jahreszeiten erheblichen Schwankungen unterworfen ist.

Abgeschlossen am 10. Juli 1929.

Schrifttum.

- AIGNER, D., Das Benediktenwandgebirge. — München 1912.
- ALMA, Frhr. H., Eine Fauna des Wettersteinkalkes bei Innsbruck. — Annalen Nat.-Hist. Mus. **40**, Wien 1926.
- AMMON, L. v., Die Gastropoden des Hauptdolomits. — Abh. zool.-min. Ver., Regensburg 1878.
- , Geognostische Beobachtungen aus den bayerischen Alpen. — Geogn. Jahresh. **7**, München 1894.
- AMPFERER, O. und HAMMER W., Geologische Beschreibung des südlichen Theiles des Karwendelgebirges. — Jahrb. geol. R.A. **48**, Wien 1898.
- AMPFERER, O., Geologische Beschreibung des nördlichen Theiles des Karwendelgebirges. — Jahrb. geol. R.A. **53**, Wien 1903.
- , Geologische Beschreibung des Seefelder-, Mieminger- und Wettersteingebirges. — Jahrb. geol. R.A. **55**, Wien 1905.
- , Bemerkungen zum zweiten Teil der von A. ROTHPLETZ herausgegebenen „Geologischen Alpenforschungen“. — Verh. geol. R.A., S. 265, Wien 1906.
- , Über Gehängebreccien der nördlichen Kalkalpen. — Jahrb. geol. R.A. **57**, Wien 1907.
- , Studien über die Tektonik des Sonnwendgebirges. — Jahrb. geol. R.A. **58**, Wien 1908.
- , und HAMMER, W., Geologischer Querschnitt durch die Ostalpen vom Allgäu zum Gardasee. — Jahrb. geol. R.A. **61**, Wien 1911.
- , Gedanken über die Tektonik des Wettersteingebirges. — Verh. geol. R.A., Wien 1912.
- , Das geologische Gerüst der Lechtaler Alpen. — Z. d. D.Ö.A.V. **44**, 1913.
- , Geometrische Erwägungen über den Bau der Alpen. — Mitt. geol. Ges. Wien 1919.
- , Zur Deutung der Hornsteinbreccien des Sonnwendgebirges im Unterinntal. — Geol. R. **17**, 1926.
- , Die Reliefüberschiebung des Karwendelgebirges. — Jahrb. geol. Bundesanst. **78**, Wien 1928.
- ANDRÉE, K., Über Sedimentbildung am Meeresboden. — G.R. **3**, **7**, **8**, 1912, 1916, 1917.
- , Wesen, Ursachen und Arten der Schichtung. — G.R. **6**, 1916.
- , Über Goniatitenkalke und Kieselschiefer. — Centralbl. f. Min. etc. **20**, 1916.
- , Geologie des Meeresbodens II. — Leipzig 1920, Borntraeger.
- BITTNER, A., Zur Stellung der Raibler Schichten. — Verh. geol. R.A. 1885.
- , Brachiopoden der alpinen Trias. — Abh. geol. R.A. **14**, Wien 1890.
- , Neue Koninckiniden des alpinen Lias. — Jahrb. geol. R.A. 1893.
- , Lamellibranchiaten der alpinen Trias. — Abh. geol. R.A. 1895.
- BODEN, K., Geologische Neuaufnahme der Tegernseer Berge im Westen der Weißbach. — Geogn. Jahresh. **27**, München 1914.
- , Geologische Untersuchungen am Geigerstein und Fockenstein bei Lenggries. — Geogn. Jahresh. **28**, München 1915.
- BODEN, Über Konglomerate und Breccien in den Bayerischen Alpen. — Z. d. geol. Ges. **75**, 1923.
- BÖHM, J., Der Hochfelln. — Z. d. geol. Ges. (Monatsber.) 1910.
- BÖSE, E., Geologische Monographie der Hohenschwangauer Alpen. — Geogn. Jahresh. **6**, München 1893.
- BRINKMANN, R., Über die sedimentäre Abbildung epirogener Bewegungen sowie über das Schichtungsproblem. — Nachr. v. d. Ges. d. Wissensch. Göttingen 1925, math.-phys. Kl. S. 202, Berlin 1926.
- BROILI, F., Ein neuer Placodontier aus dem Rhät der bayerischen Alpen. — Sitz. ber. Bayer. Ak. Wiss., math.-phys. Kl. 1920.
- CLARK, W. B., Über die geologischen Verhältnisse der Gegend nordwestlich vom Achensee. — Inaug.-Diss. München 1887.
- CORNELIUS, H. P., Die kristallinen Schollen im Retterschwangtale (Allgäu) und ihre Umgebung. — Mitt. geol. Ges. Wien **14**, 1921.
- , Über tektonische Breccien, tektonische Rauhacken und verwandte Erscheinungen. — Centralbl. Min. etc. Abt. B, 1927.
- CORNET, J., Sur l'époque de la formation des Silex du Crétacique et du Montien du Hainaut. — Ann. de la Soc. géol. de Belgique **37**, Bull. Liège 1910.

- DACQUÉ, E., Geologische Aufnahme des Gebietes um den Schliersee und Spitzingsee in den oberbayerischen Alpen. — Landeskundl. Forsch., hrsg. v. d. geogr. Ges. München, Heft 15, München 1912.
- DEECKE, W., Über Fische. — N.J. Min. 1913.
- , Über die Lage der Versteinerungen im Gestein. — Ber. d. Nat. forsch. Ges. Freiburg/Br. 23.
- DITTMAR, A. v., Über die Zone der *Avicula contorta* PORTL. — Inaug.-Diss. München 1864.
- EMMRICH, A., Geognostische Beobachtungen aus den östlichen bayerischen und den angrenzenden österreichischen Alpen. — Jahrb. geol. R.A. 4, Wien 1853.
- FELS, E., Die Kare der vorderen Karwendelkette. — München 1921. Riedel.
- , Das Problem der Karbildung in den Ostalpen. — Petermanns Mitt. Erg.-Heft 202, Gotha, Perthes 1929.
- FOETTERLE, F., Produktion des Asphaltwerkes zu Seefeld in Tirol. — Jahrb. geol. R.A. 1856.
- FRAAS, E., Scenerie der Alpen. Leipzig 1892.
- FRECH, F., Über die Korallenfauna der nordalpinen Trias. — Jahrb. geol. R.A. 39, Wien 1889.
- GEYER, G., Über die Schichtfolge und den Bau der Kalkalpen im unteren Enns- und Ybbstale. — Jahrb. geol. R.A. 59, Wien 1909.
- GORJANOVIC-KRAMBERGER, K., Die obertriadische Fischfauna von Hallein in Salzburg. — Beitr. zur Paläont. und Geol. Österr.-Ungarns 18, Wien und Leipzig 1905.
- GÜMBEL, C. W., Geognostische Beschreibung des Bayerischen Alpengebirges. — Perthes, Gotha 1861.
- , Geognostische Karte des Königreiches Bayern: Das bayerische Alpengebirge, Blatt 3 — Werdenfels. 1861.
- HAAS, J. O. und HOFFMANN, C. R., Le gisement de calcaire asphaltique de Lobsann et son origin. — Bull. serv. de la carte géol. d'Alsace et de Lorraine. 1. 1928.
- HABER, G., Vorläufige Mitteilung über die Ergebnisse einer Neuaufnahme des Kramer-Notfrieder-Gebietes (Farchanter Alpen). — Centralbl. Min. Abt. B. 1927.
- HAHN, F. F., Neue Funde im nordalpinen Lias der Achenseegegend bei Ehrwald. — N.J.-Beil. Bd. 32, 1911.
- , Grundzüge des Baues der nördlichen Kalkalpen zwischen Inn und Enns. — Mitt. geol. Ges. 3, Wien 1913.
- , Ergebnisse neuer Spezialforschungen in den deutschen Alpen, 3. Die Kalkalpen Südbayerns. — Geol. R. 1914.
- HAUER, F. v., Über die Gliederung der Trias-Lias- und Juragebilde in den nordöstlichen Alpen. — Jahrbuch geol. R.A. 1853.
- , *Choristoceras*. Eine neue Cephalopodensippe aus den Kössener Schichten. — Sitz. ber. Ak. Wiss., math.-nat. Cl. 52, Wien 1866.
- HECKEL, J., Über das Vorkommen fossiler Fische in Tirol usw. — Jahrb. geol. R.A. 1, Wien 1850.
- HEIM, A., Einige Gedanken über Schichtung. — Vierteljahrsschr. Naturf. Ges. Zürich, 54. 1909.
- , ARNOLD, Über submarine Denudation und chemische Sedimentation. — G.R. 1924.
- HEINZ, R., Geologische Beobachtungen zur Bildungsweise und Entstehungszeit des Feuersteins und zum Schichtungsproblem. — Jahresh. Niedersächs. geol. Ver. Hannover 23, Hannover 1929.
- HERITSCH, F., Die Anwendung der Deckentheorie auf die Ostalpen I und II. — G.R. 1914.
- , Die österreichischen und deutschen Alpen bis zur alpino-dinarischen Grenze (Ostalpen). — Handb. rög. Geol. 2, Heidelberg 1915.
- , Grundlagen der alpinen Tektonik. — Berlin, Borntraeger 1923.
- JOHNSTON, J. und WILLIAMSON, F., The rôle of inorganic agencies in the deposition of Calcium carbonate. — Journ. of Geol. 24, 1916.
- KEILHACK, K., Lehrbuch der praktischen Geologie, 3. Aufl., Enke, Stuttgart 1916/17.
- KLEBELSBERG, R. v., Glazialgeologische Notizen vom bayerischen Alpenrande. — Z. f. Gletscherkunde 3, 4, 5, 1913/14.
- , Triasammoniten aus dem südlichen Karwendelgebirge. — Verh. geol. Staatsanst. 12, Wien 1920.
- KNAUER, J., Geologische Monographie des Herzogstand-Heimgarten-Gebietes. — Geogn. Jahresh. 18, München 1905.
- , Die geologischen Verhältnisse und Aufschlüsse des Walchenseekraftwerkes. — Geogn. Jahresh. 37, München 1924.
- KOBER, L., Über Bau und Entstehung der Ostalpen. — Mitt. geol. Ges. 5, Wien 1912.
- , Bau und Entstehung der Alpen. — Borntraeger, Berlin 1923.

- KREJCI-GRAF, K., Zur Kritik von Vereisungserscheinungen. — *Senckenbergiana* 9, Ffm. 1927.
- LEBLING, Cl., Geologische Beschreibung des Lallengebirges im Berchtesgadener Land. — *Geogn. Jahresh.* 24, München 1911.
- LEUCHS, K., Die geologische Zusammensetzung und Geschichte des Kaisergebirges. — Inaug.-Diss. — *Z. Ferdinandeum* 3, München 1907.
- , Über Grundfragen alpiner Geologie. — *Z. d. geol. Ges.* 1921, 73, S. 192.
- , Der geologische Bau des Wettersteingebirges und seine Bedeutung für die Entwicklung der deutschen Kalkalpen. — *Z. d. geol. Ges.* 75, 1923.
- , Neue Probleme der Alpengeologie. — *Senckenbergiana* 7, Ffm. 1925.
- , *Sphaerocodium* im nordalpinen Plattenkalk. — *Centralbl. Min. etc. Abt. B.* 1925.
- , Lithogenetische Untersuchungen in den Kalkalpen. — *Centralbl. Min. etc. Abt. B.*, 1925.
- , Über die Einflüsse der Triasriffe auf die Liassedimentation in den nördlichen Kalkalpen. — *Senckenbergiana* 7, Ffm. 1925.
- , Sedimentationsverhältnisse im Mesozoikum der nördlichen Kalkalpen. — *G.R.* 17, 1926.
- und UDLUFT, H., Entstehung und Bedeutung roter Kalke der Berchtesgadener Alpen. — *Senckenbergiana* 8, Ffm. 1926.
- , Ganoidenreste aus dem norischen Plattenkalk Nordtirols. — *Centralbl. Min. Abt. B.* 1927.
- , Geologie von Bayern, Zweiter Teil: Bayerische Alpen. — *Borntraeger*, Berlin 1927.
- , Polygene Konglomerate im nordalpinen Rhät und die altkimmerische Phase. — *G.R.* 19, 1928.
- , Beiträge zur Lithogenese kalkalpiner Sedimente. — *N.J. Min. B. - Bd.* 59, Abt. B. 1928.
- LEYDEN, F., Grundfragen alpiner Formenkunde. — *G.R.* 15, 1924.
- LINK, G. und BECKER, W., Die weiße Schreibkreide und ihre Feuersteine. *Chemie der Erde*, 2, Jena 1925.
- MÄRZ, Chr., Der Seenkessel der Soiern, ein Karwendelkar. — *Veröff. Ver. Erdk.* 6, Leipzig, 1904.
- MEIGEN, W., Beiträge zur Kenntnis des kohlen-sauren Kalkes. — *Ber. naturf. Ges. Freiburg/Br.* 13, 1902, 15, 1905.
- , Neuere Arbeiten über die Entstehung des Dolomits. — *G.R.* 1, 1910.
- MOJSISOVICS, E. v., Faunengebiete und Faziesgebilde der Triasperiode in den Ostalpen. — *Jahrb. geol. R.A.* 24, Wien 1874.
- , Die Cephalopoden der mediterranen Triasprovinz. — *Abh. geol. R.A.* 10, Wien 1882.
- , Die Cephalopoden der Hallstätter Kalke. — *Abh. geol. R.A.* Wien 1893.
- NEUMAYR, M., Das Karwendelgebirge. — *Verh. geol. R.A.* Wien 1871.
- NÖTH, L., Der geologische Aufbau des Hochfölln-Hochkienberggebietes. — *N.J. Min. Beil.-Bd.* 53, Abt. B. 1926.
- OSSWALD, K., Das Risserkogelgebiet. — *Geogn. Jahresh.* 37, München 1924.
- , Geologische Karte und Geschichte der Wendelsteingruppe. — München 1929, Lindauer.
- PENCK, A. und BRÜCKNER, E., Die Alpen im Eiszeitalter. — Leipzig 1909.
- PENCK, A., Die Terrassen des Isartales in den Alpen. Ablagerungen und Schichtstörungen der letzten Interglazialzeit in den nördlichen Alpen. — *Sitz.Ber. Preuß. Ak. Wiss. Berlin* 1922.
- , Glazialgeologische Beobachtungen in den bayerischen Hochalpen.
- , Alte Breccien und junge Krustenbewegungen in den bayerischen Hochalpen.
- , Die Eiszeit in den bayerischen Hochalpen. — *Sitz.Ber. Preuß. Ak. Wiss., phys.-math. Kl.* 7, Berlin 1925.
- PETERS, K., Aptychen im Neokomien und oberen Jura Österreichs. — *Jahrb. geol. R.A.* 5, Wien 1854.
- PHILIPPI, E., Über das Problem der Schichtung und über Schichtbildung am Boden der heutigen Meere. — *Z. d. geol. Ges.* 1908.
- PIA, J. v., Geologische Studien im Höllengebirge und seinen nördlichen Vorlagen. — *Jahrb. geol. R.A.* 62, Wien 1912.
- PICHLER, A., Zur Geognosie der nordöstlichen Kalkalpen Tirols. — *Jahrb. geol. R.A.* 7, Wien 1856.
- , Die Zone des *Ammonites planorbis* in Nordtirol. — *Jahrb. geol. R.A.* 19, Wien 1869.
- , Aus der Trias der nördlichen Kalkalpen Tirols. — *N.J. Min.* 1875.
- , Beiträge zur Geognosie Tirols. — *N.J. Min.* 1875.
- , Vom Sonnwendjoch. — *Verh. geol. R.A.* 1886.
- POMPECKJ, I. F., Ammoniten des Rhät. — *N.J. Min.* 1895.

- PONTOPPIDAN, H., Die geologischen Verhältnisse des Rappentalpentes sowie der Bergkette zwischen Breitach und Stillach. — Geogn. Jahresh. 24, München 1911.
- REIS, O. M., Erläuterungen zur geologischen Karte des Wettersteingebirges. — Geogn. Jahresh. 23, München 1911.
- , Kalkalgen und Seesinterkalke aus dem rheinpfälzischen Tertiär. — Geogn. Jahresh. 36, München 1923.
- , Die Fauna des Wettersteinkalkes. — Geogn. Jahresh. 13, 1900, 18, 1905, 34, 1921, München.
- , Über Konglomerate in den Allgäuer Kössener Schichten. — Geogn. Jahresh. 37, München, 1924.
- REISER, K. A., Geologie der Hindelanger und Pfrontener Berge im Allgäu. — Geogn. Jahresh. 33, München 1920, 35, 1922, 37, 1924.
- REUSS, A. E., Über einige Crustaceenreste aus der alpinen Trias Österreichs. — Sitz.Ber. Ak. Wiss., math.-nat. Cl. 55, 1, Wien 1867.
- , Paläontologische Beiträge: 8. Foraminiferen und Ostracoden aus den Schichten von St. Cassian. — Sitz.Ber. Ak. Wiss., math.-nat. Cl. 57, 1, Wien 1868.
- RICHTER, Max, Der Nordrand der oberostalpinen Geosynklinale. — Z. d. geol. Ges. 75, 1923.
- , Über den Bau des Ammergebirges. — Z. d. geol. Ges. 77, 1925.
- und STEINMANN, H. G., Zur Tektonik der bayerischen Alpen zwischen Ammer und Loisach. — Centralbl. Min. Abt. B. 1927.
- RICHTER, Rud., Flachseebeobachtungen zur Paläontologie und Geologie. — Senckenbergiana 1922—1926, Ffm.
- , Gründung und Aufgaben der Forschungsstelle für Meeresgeologie „Senckenberg“ in Wilhelmshaven. — Natur und Museum 1929, 1, Ffm.
- ROTHPLETZ, A., Monographie der Vilser Alpen. — Paläontogr. 33, 1886.
- , Das Karwendelgebirge. — Z. D.Ö.A.V. München 1888.
- , Fossile Kalkalgen aus der Familie der Codiaceen und Corallineen. — Z. d. geol. Ges. 43, 1891.
- RÜGER, L., Die Rhyncholithen des deutschen Lias. — Jahresber. und Mitt. Oberrhein. geol. Ver. 10, 1921.
- , *Nautilus (Rhyncholithes) Tilli* nov. sp., ein neuer Rhyncholith aus dem Pläner von Quedlinburg. — Centralbl. Min. Abt. B. 1926.
- RÜST, Beiträge zur Kenntnis der fossilen Radiolarien aus Gesteinen des Jura. — Paläontographica 31, 1885.
- SANDER, B., Über bituminöse Mergel. — Jahrb. geol. Staatsanst. 71, Wien 1921.
- , Über bituminöse und kohlige Gesteine. — Mitt. geol. Ges. Wien 15, Wien 1922.
- SAPPER, C., Über die geologischen Verhältnisse des Juifen und seiner Umgebung. — Inaug.-Diss. München, Stuttgart. 1888.
- SCHLOSSER, M., Zur Geologie des Unterinntals. — Jahrb. geol. R.A. 1909 Wien.
- SCHÄFER, Rud., Über die geologischen Verhältnisse des Karwendels in der Gegend von Hinterriß und um den Scharfreiter. — Inaug.-Diss. München 1888.
- SCHMIDT, Martin, Anaptychen von *Lytoceras cornu copiae* YOUNG a. BIRD. — N.I. B.-Bd. 61. Abt. B. 1928.
- SCHNITTMANN, F. X., Beiträge zur Kenntnis des Frankenjura. — Z. d. geol. Ges. 77, 1925.
- SCHRÖDER, J., Die jurassischen Fleckenmergel der bayerischen Alpen. — N.J.B - Bd. 52, Abt. B.
- SCHWAGER und GÜMBEL, Mitteilungen aus dem chemischen Laboratorium: Gesteinsanalysen. — Geogn. Jahresh. 7, München 1894.
- SCHWARZ, A., Untersuchungen über die Bildungsweise von sedimentären festen Kieselsäuregesteinen nichtklastischen Ursprungs. — Senckenbergiana 11, Ffm. 1929.
- SKUPHOS, Th. G., Die stratigraphische Stellung der Partnach- und der sogenannten unteren Carditaschichten in den nordtiroler und bayrischen Alpen. — Geogn. Jahresh. 4, München 1891.
- SPENGLER, E., Ein geologischer Querschnitt durch die Kalkalpen des Salzkammergutes. — Mitt. geol. Ges. Wien, 11, Wien 1918.
- , Die Gebirgsgruppe des Plassen und Hallstätter Salzberges im Salzkammergut. — Jahrb. geol. R.A. 68, Wien 1918.
- , Über die von H. STILLE in der nördlichen Kalkzone der Ostalpen unterschiedenen Gebirgsbildungsphasen. — Centralbl. Min. etc. Abt. B. 1927.

- SPITZ, A., Die nördlichen Kalkketten zwischen Mödling und Triestingbach. — Mitt. geol. Ges. Wien **12**, Wien 1919.
- STEINMANN, G., Gibt es fossile Tiefseeablagerungen von erdgeschichtlicher Bedeutung? — G.R. **16**, 1925.
- STILLE, H., Grundfragen der vergleichenden Tektonik. — Berlin 1924.
- STUR, D., Die obertriadische Flora der Lunzer Schichten und des bituminösen Schiefers von Raibl. — Sitz.Ber. Ak. Wiss. **91**, math.-nat. Kl., Wien 1885.
- SUSS, E., Über die Brachiopoden der Kössener Schichten. — Denkschr. Ak. Wiss., math.-nat. Kl. **7**, Wien 1854.
- TILL, A., Die Cephalopodengebisse aus dem schlesischen Neokom. — Jahrb. geol. R.A. **56**, Wien 1906.
- , Die fossilen Cephalopodengebisse. — Jahrb. geol. R.A. **57**, 1907, **58**, 1908.
- TRAUTH, F., Aptychenstudien I. Über die Aptychen im allgemeinen. — Ann. Naturhist. Mus. **41**, Wien 1927.
- TRUSHEIM, F., Makroskopische Fossilien im Hauptdolomit. — Senckenbergiana **10**, Ffm. 1928.
- , Zur Bildungsgeschwindigkeit geschichteter Sedimente im Wallenmeer, besonders solcher mit schräger Parallelschichtung. — Senckenbergiana **11**, Ffm. 1929.
- , Rippeln im Schlick. — Natur und Museum 1929, Ffm.
- VORTISCH, W., Oberrhätischer Riffkalk und Lias in den nordöstlichen Alpen, I. — Jahrb. geol. Bundesanst. **76**, Wien 1926.
- WAGNER, G., Beiträge zur Stratigraphie und Bildungsgeschichte des oberen Hauptmuschelkalkes und der unteren Lettenkohle in Franken. — Inaug.-Diss. Jena 1913.
- WÄHNER, Fr., Zur heteropischen Differenzierung des alpinen Lias. — Verh. geol. R.A. 1886, Wien.
- , Das Sonnwendgebirge im Unterinntal. — Leipzig und Wien 1903.
- WEHRLI, H., Monographie der interglazialen Ablagerungen im Bereich der nördlichen Ostalpen zwischen Rhein und Salzach. — Jahrb. geol. B.A. **78**, S. 357, Wien 1928.
- WETZEL, W., Sedimentpetrographie. — Fortschr. der Min., Krist. u. Petr. **8**, 1923.
- WINKLER, G., Die Schichten der *Avicula contorta*. — München 1859.
- WINKLER, A., Über die Bildung mesozoischer Hornsteine. — Tschermak's Min. und Petr. Mitt. **38**, 1925.
- WÖHRMANN, S. v., Die Fauna der sogenannten Cardita und Raiblerschichten in den nordtiroler und bayrischen Alpen. — Jahrb. geol. R.A. **39**, 1889.
- , Die Raibler Schichten. — Jahrb. geol. R.A. **43**, 1893.
- WOLF, H. v., Eiszeitstudien im Risscr Gebirge. — Mitt. geogr. Ges. München **17**, München 1924.
- , Blatt Tegernsee mit Erläuterungen. — München 1926.
- ZUGMAYER H., Untersuchungen über rhätische Brachiopoden. — Beitr. z. Paläont. Österr.-Ung. **1**, Wien 1882.

Tafelerklärung.

Tafel 1. Fig. 1. Panorama des Soierngebietes von der Krapfenkarspitz. Der Vordergrund gibt einen vorzüglichen Einblick in den Faltenbau der Gumpenkarspitz (s. a. Profil 3). Von der Soiern- und Reißenden Lahns spitz stürzen steile Wände zur Schwelle der Soiernlake (Daunmoräne) ab. An ihrem Fuße erscheint der Hauptdolomit. Plattenkalk bildet sämtliche Gipfel südlich des Feldernkreuzes, mit der Schöttelkarspitz beginnt wieder der Hauptdolomit. Verf. phot.

Tafel 2. Fig. 1. Die Soiernspitz von NNW. Fast wagerecht liegender Plattenkalk bildet die Pyramide des Gipfels. Am Fuß der Nordabstürze erscheint überall der Hauptdolomit. Verf. phot.

Fig. 2. Der Soiernkessel von der Schöttelkarspitz aus (vgl. Profil 3). Die Aufnahme zeigt im Grat Soiernspitz—Krapfenkarspitz bzw. seinen Vorgipfeln prachtvoll die von der Tektonik abhängige Morphologie. Zwei Karschwellen führten zur Bildung von Seen: die eine unter den Nordabstürzen der Soiernspitz, wo die Soiernlake entstehen konnte, und die zweite, der „Riegel“, der die beiden (unterirdisch abfließenden) Soiernseen abdämmte. Verf. phot.

Tafel 3. Fig. 1. Die Feldernschneid und der westlichste Teil des Soiernkessels. Sanfte Außenhänge und Steilabstürze zum Kessel verursachen ein kraterähnliches Bild. Die Schöttelkarspitz (Hütte auf dem Gipfel) und die rechts (östlich) anschließenden Gipfel bestehen aus flachliegendem Hauptdolomit, das Feldernkreuz im Westen wird von überschobenem Plattenkalk aufgebaut (s. Abb. 10). Verf. phot.

Fig. 2. Die Tiefkarspitz von der Hochlandhütte aus (s. a. Profil 1). Der Gipfel besteht aus massigem Wettersteinkalk, unter dem die begrünten Bänder des Muschelkalkes, ebenfalls von zahllosen Störungen zerstückelt, erscheinen. Zwischen dem Muschelkalk und dem Wettersteinkalk des Sattelnordflügels (Predigtstuhl) sind die Reichenhaller Schichten (weiß umgrenzt) eingequetscht, deren breites Band dem Bergsteiger eine willkommene Anstiegsmöglichkeit bietet. Verf. phot.

Tafel 4. Fig. 1. Die flache Überschiebung des Mitterkreuzes und ersten Karwendelkopfes über die Reichenhaller Schichten sowie den Wettersteinkalk des zweiten Karwendelkopfes. Im Vordergrund der Abfall einer Doline (Westliche Karwendelgrube).

L. HEINKE phot.

Fig. 2. Vom Wörnergrat auf Hochlandhütte, Mittenwalder Karwendelstock, Mittenwald, Isar- und Leutaschtal, Wetterstein und Mieminger Berge. Im Vordergrund lagern die Reste der Hochlandbreccie als Erosionsrelikte auf etwa gleich hohen Kämmen, zwischen denen sich Täler mehrere 100 m eingeschnitten haben. Links oben die Überschiebung am Mitterkreuz. Nach käuflicher Photogr.

- Tafel 5.** Fig. 1. Tiefkarspitz vom Zunderweidkopf aus. Die Muschelkalkbänder und das Reichenhaller Band verraten sich durch die Schneereste. Auffälliges Umbiegen des Mitterkares (links) und des Dammkares (rechts der Tiefkarspitz). Nach käuflicher Photogr.
Fig. 2. Grat Soiernspitz-Jägersruh. Steilstehender Plattenkalk. Links oben eine kleine Spezialmulde. Verf. phot.
- Tafel 6.** Fig. 1. Feldernkreuz von Westen. Links horizontaler Hauptdolomit, auf den von Süden Plattenkalk flach überschoben ist. Verf. phot.
Fig. 2. Hauptdolomit im Bett des Bärnbaches. Der Hauptdolomit ist hier tektonisch nur sehr wenig beansprucht und deshalb noch ausgezeichnet gebankt. K. SCHMELZ phot.
Fig. 3. Die Türme beider Vereinsalm (Liaskalk). Verf. phot.
Fig. 4. Die vorderen Kammleitenwände vom Wörner aus, deren berüchtigte Wildheit und Brüchigkeit durch senkrecht stehenden, W—E streichenden Hauptdolomit verursacht sind. Dahinter das flache Becken der Vereinsalm. Verf. phot.
- Tafel 7.** Fig. 1. Bitumenmergel des Hauptdolomits von der großen Ochsenlähne westlich vom Seinskopf. Häufiger Wechsel von kalkig-mergeligen (hellen) und bituminösen (dunklen) Feinschichten. Verf. phot.
Fig. 2. Hauptdolomit im Bett des Bärnbaches. Diskordante Paralleltextur (Neigung 10—12 Grad) innerhalb einer Hauptdolomitbank von $\frac{1}{2}$ m Mächtigkeit. Verf. phot.
Fig. 3. Eine um 90 Grad umbiegende Verwerfung am Predigtstuhl. Verf. phot.
Fig. 4. Aptychenschichten des Oberen Jura. Mit Wurm Spuren bedeckte Schichtfläche. Derartige Schichten wechsellagern mit Konglomeraten (s. Tafel 8, Fig. 2) und führen Hornsteinbänke. Hinterriß. Verf. phot.
- Tafel 8.** Fig. 1. Gefältelte Bitumenmergel des Hauptdolomits vom Felsengraben. Vergr. etwa 2×. Verf. phot.
Fig. 2. Flachwasserbildung in den Aptychenschichten des Oberen Jura. Inmitten sehr vollkommen gerundeter, zur Zeit ihrer Ablagerung noch bildsamer Kalkgerölle liegen Bruchstücke von Aptychen und Belemniten. Nat. Größe. Hinterriß. Verf. phot.

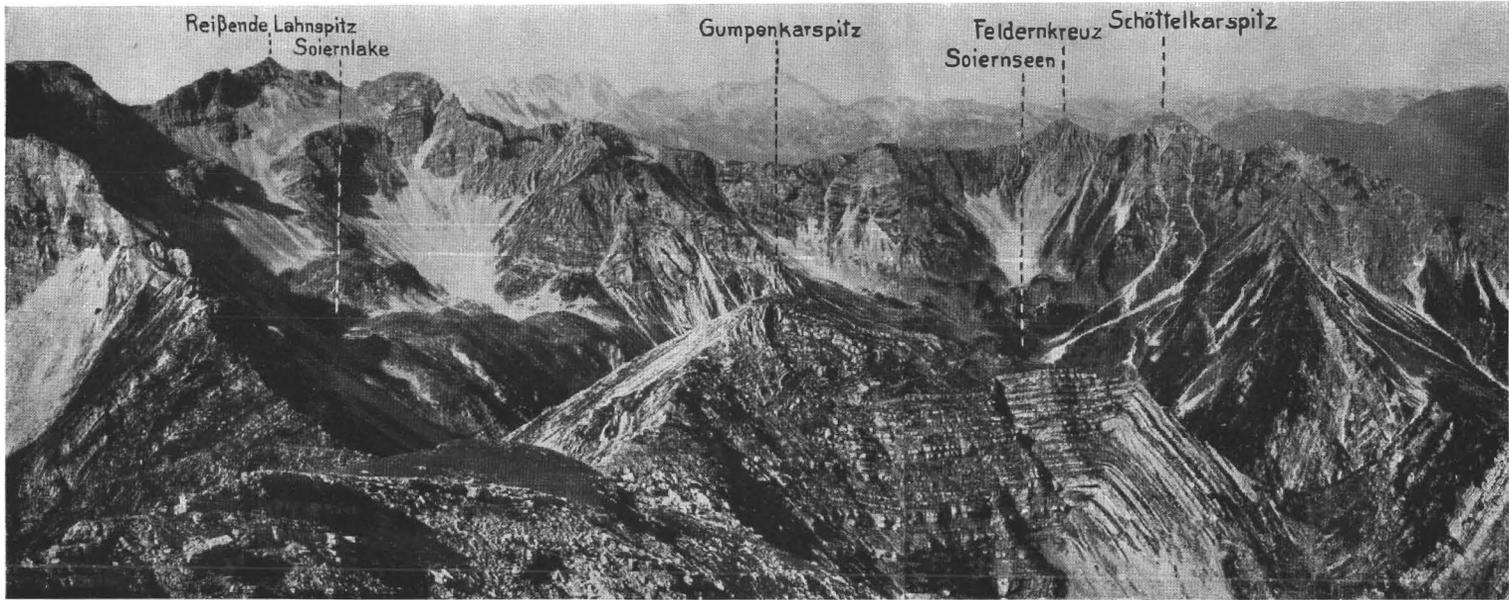


Fig. 1

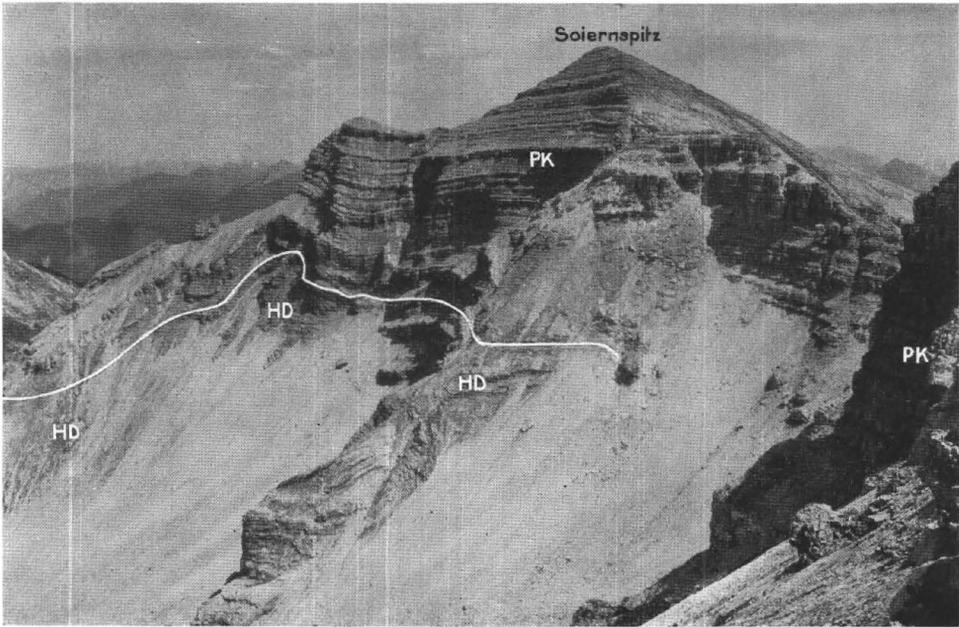


Fig. 1



Fig. 2



Fig. 1



Fig. 2

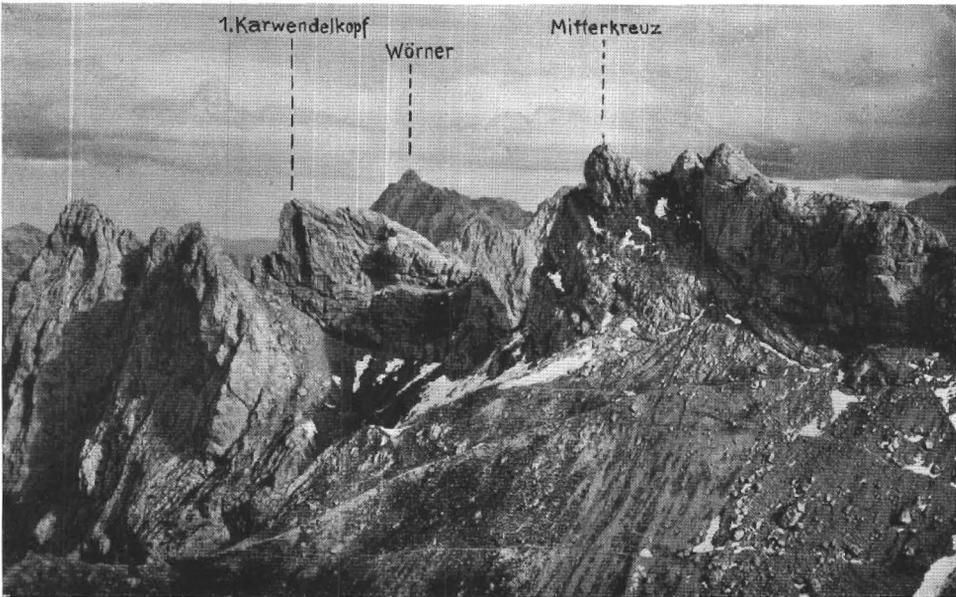


Fig. 1

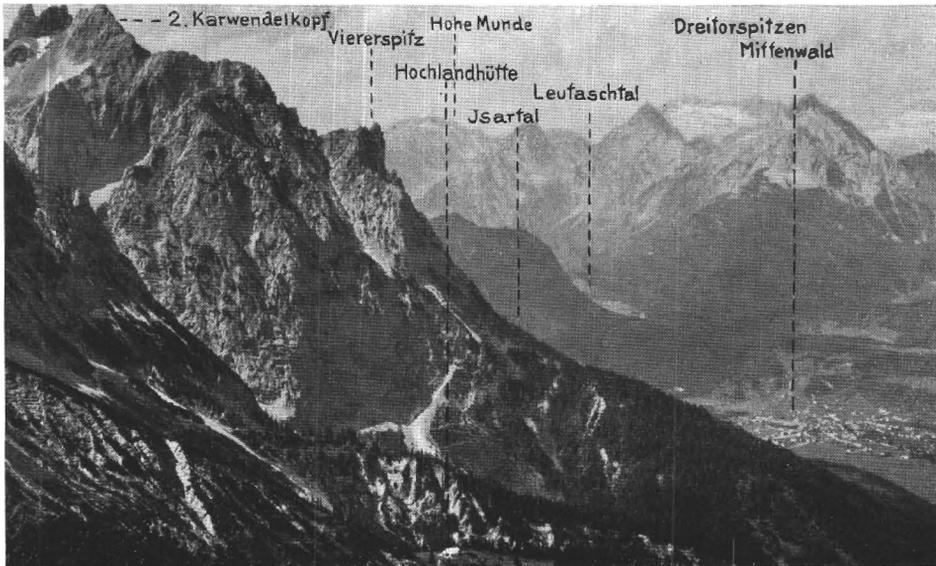


Fig. 2



Fig. 1

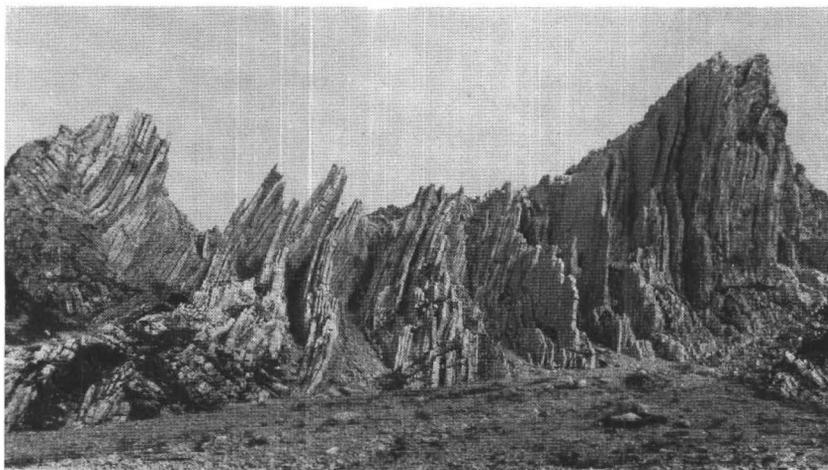


Fig. 2

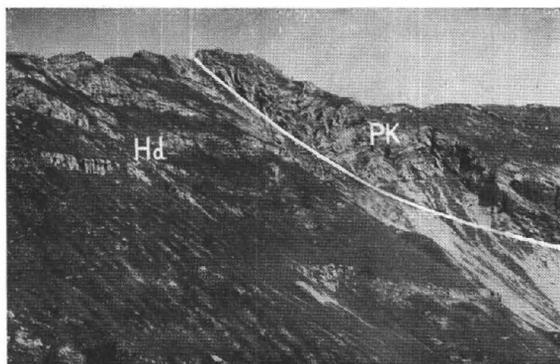


Fig. 1

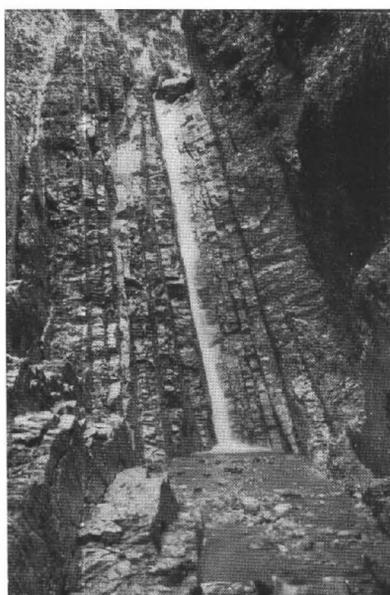


Fig. 2

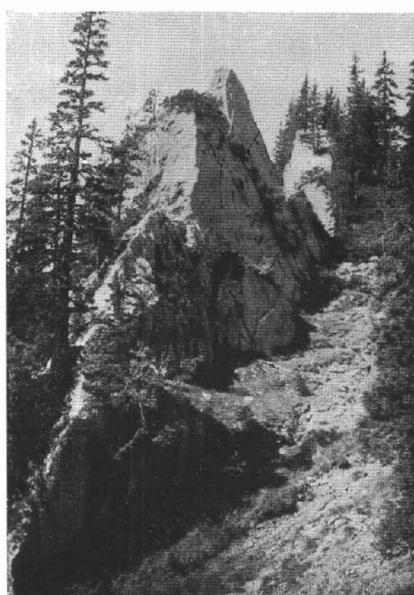


Fig. 3



Fig. 4

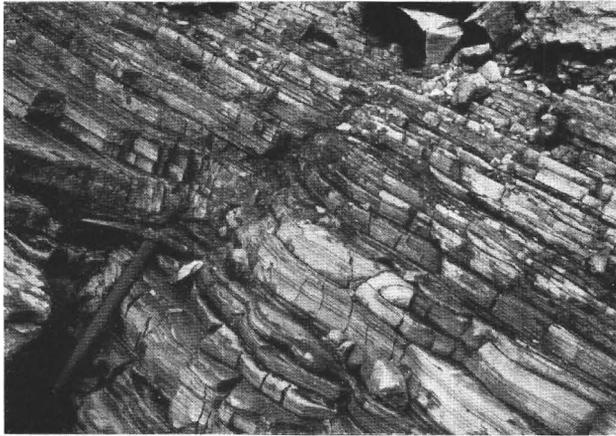


Fig. 1

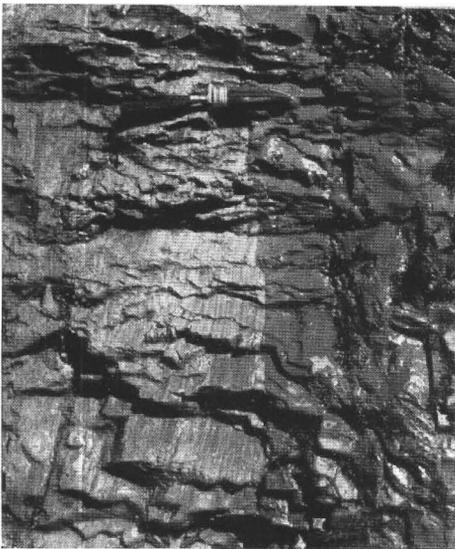


Fig. 2



Fig. 3

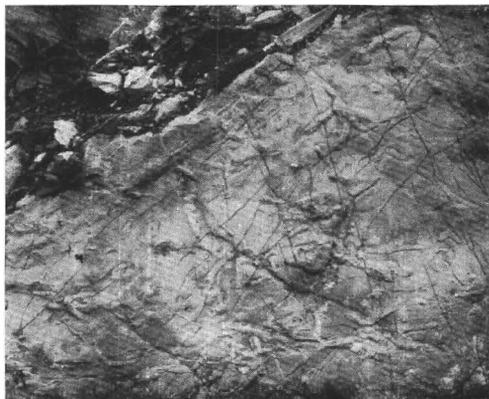


Fig. 4

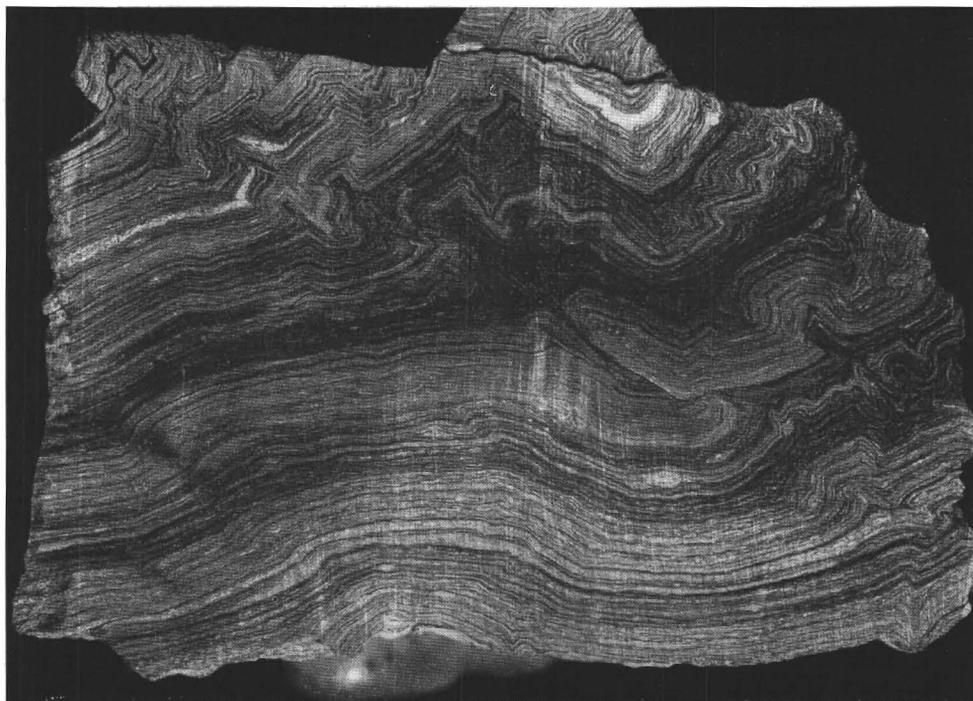


Fig. 1

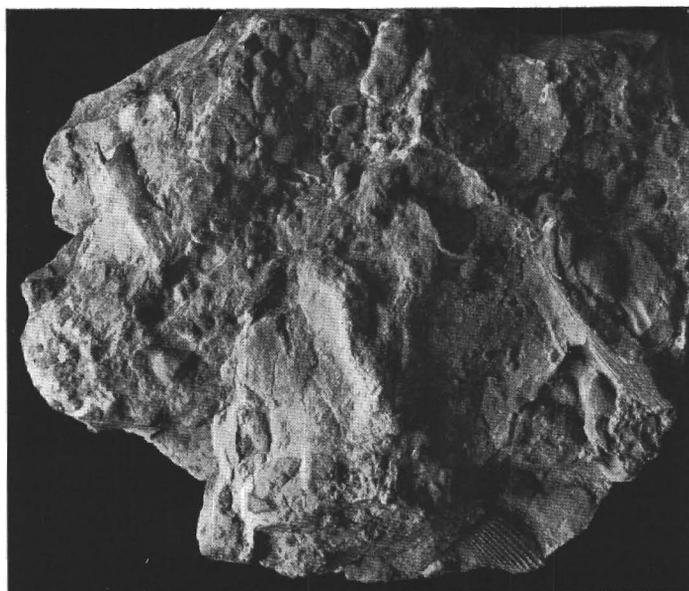


Fig. 2

Geologische Karte der Mittenwalder Karwendelmulde

von F. Trusheim

Die geologische Kolorierung des österreichischen Kartenteiles stammt von O. Ampferer

Beilage zu „Wissenschaftliche Veröffentlichungen des D. u. Ö. Alpenvereins“ Nr. 7

