

S o n d e r a b d r u c k

aus der „Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft“
Band 75, Jahrgang 1923, Monatsbericht Nr. 5—10.

Der geologische Bau des Wettersteingebirges und seine Bedeutung für die Entwicklungs- geschichte der deutschen Kalkalpen.

(Vortrag, gehalten auf der Hauptversammlung in München
am 4. August 1923.)

Von Herrn KURT LEUCHS, München.

Bei der Auswahl des Wettersteingebirges für die Exkursionen der Deutschen Geologischen Gesellschaft 1923 war ausschlaggebend, daß für dieses Gebiet eine ausgezeichnete Grundlage in der geologischen Karte der bayerischen Landesanstalt von REIS und PFAFF, sowie dem

1. Teil der Erläuterungen dazu von Reis vorliegt, ferner, daß seit dem Erscheinen dieser Arbeiten das Gebirge der Gegenstand eines lebhaften Meinungsaustauschs zwischen einer Reihe von Geologen geworden war. Die verschiedensten Anschauungen sind über den Bau dieses Gebirges geäußert worden, und wenn die Sachlage noch heute die ist, daß keine dieser Anschauungen voll befriedigt, so können wir dies als Beispiel für die Schwierigkeiten ansehen, welche der Klärung des alpinen Gebirgsbaus entgegenstehen.

Denn eine Reihe von Problemen, welche die Alpen bieten, tritt uns im Wettersteingebirge vor Augen, ähnlich wie in anderen Teilen der deutschen Alpen. Es sei mir deshalb gestattet, in aller Kürze einige dieser Probleme hier aufzuwerfen.

Bevor ich dazu übergehe, ist es nötig, den Bau des Gebirges und die wichtigsten darüber geäußerten Anschauungen zu skizzieren.

Von N nach S lassen sich folgende tektonische Einheiten unterscheiden:

An die Muldenzone des Vorlandes, bestehend aus Raibler Schichten und Hauptdolomit mit Einfaltungen jüngerer Schichten (Rhät bis Neokom) schließt sich die

1. Sattelzone von Wamberg—Waldeck und die des Höllentals, erstere ausgezeichnet durch mächtige Entwicklung von Partnachschichten, demnach bestehend aus Muschelkalk—Partnach—Raibler Schichten, letztere nur zum Teil noch mit Partnachschichten, überwiegend dagegen bestehend aus Muschelkalk—Wettersteinkalk—Raibler Schichten. Auf diese Verschiedenheit im Schichtbestand komme ich noch zu sprechen. Die Sattelzone geht über in die

2. große Mulde Kranzberg—Reintal—Platt mit starkem Ansteigen der Muldenachse gegen W. Gesteine Muschelkalk—Hauptdolomit. Gegen S wird der Muldensüdflügel bzw. der zum Teil noch vorhandene folgende Sattel (des südlichen Hauptkammes) durch eine Störungszone abgeschnitten, es folgt die

3. Muldenzone der jungen Schichten (Obere Trias—Neokom) mit einem Eigenbau, der sich bis zu enger Faltung steigert. Daran schließt sich die

4. Sattelzone der Vorberge, welche übergeht in die

5. Mulde des Gaistales, auf diese wieder folgt der Sattel der Mieminger Kette.

Deutlich ergibt sich daraus die ursprünglich regelmäßige Folge von Sattel und Mulde, welche durch spätere Bewegungen teilweise gestört wurde.

Ich gehe über zu den wichtigsten Erklärungen des Gebirgsbaues. 1905 kam AMPFERER bei der Kartierung des österreichischen Anteiles ungefähr zu gleichen Anschauungen, wie sie ROTHPLETZ für das Karwendelgebirge gewonnen hatte: durch hauptsächlich vertikale Bewegungen wurde das Gebiet in Schollen zerteilt, an steilen Verwerfungen wurden die Schollen mit älterer Trias gehoben, während die Schollen mit den jüngeren Schichten einbrachen. Diese Vorgänge erfolgten wahrscheinlich präcenoman. Die 2. große Gebirgsbildung im Tertiär löste hauptsächlich horizontale Bewegungen aus, Faltung und Zusammenschub, dadurch wurden die höheren Schollen zum Teil über die tieferen überschoben (örtliche Überschiebungen!).

Im gleichen Jahr erklärte ROTHPLETZ das Wetterstein als eine höhere Schuppe der rhätischen Schubmasse, welche auf nach W ansteigender Schubbahn gegen W überschoben wurde, zugleich erfolgten an den Randspalten dieser Schuppe Teilüberschiebungen nach N und S.

Auch REIS kam 1911 im wesentlichen zu gleichen Anschauungen wie ROTHPLETZ und AMPFERER. REIS nahm erst Faltung mit Verwerfungen an, danach eine Erosionszeit, welche abgelöst wurde von einer Schubphase, wobei die Gesamtbewegung von O nach W ging und Bewegungen nach S und N als Begleiterscheinungen dieser Hauptbewegung auftraten. Zugleich zerriß die abgespaltete Schubmasse in Längsschollen, welche ungleiche Bewegungen ausführten, daher tauchen Überschiebungen auf, verschwinden aber auch plötzlich wieder.

Im Querschnitt 1911 erscheint AMPFERER der Nordrand noch unklar, im S aber grenzt an das Gebiet die Schubmasse der Mieminger, von S hergeschoben. Vor dem Stirnrand dieser Schubmasse liegen die jungen Schichten als eine mannigfach zusammengeschobene und gestauchte Schub- und Schürfzone.

SCHLAGINTWEIT, 1912, postulierte dann eine große Decke, südlicher Herkunft. Mieminger und Wetterstein gehören zusammen, die junge Schichtenzone ist ein Fenster,

während oder nach der Schubphase erfolgten Aufwölbung von Basalgebirge und Decke, so daß jetzt die Überschiebungsfläche im N senkrecht steht, im S überkippt steil nördlich fällt. Der Nordrand dieser großen Decke ist auch SCHL. noch unbekannt

Dagegen wandte sich AMPFERER, 1912: Wetterstein ist eine höhere Teildecke der Lechtaldecke, als solche von O nach W geschoben, während die Mieminger zu der von S geschobenen Inntaldecke gehören. Nur im O (Arnspitzen) ist diese über die Wettersteindecke geschoben, im übrigen Gebiete bilden die jungen Schichten eine nie von der Inntaldecke überschobene Zone zwischen beiden Schubdecken.

v. LÖSCH, 1914, nimmt erst Faltung an (postneokom), dann Schub (tertiär). Nach ihm ist hauptsächlich O—W-Schub wirksam gewesen, dabei trat eine Zerspaltung in eine Reihe von Teilschollen ein, welche alle mehr oder weniger weit nach W geschoben wurden, mit Teilbewegungen seitwärts. Diese Bewegungen wurden erleichtert oder selbst hervorgebracht durch die vorher entwickelte Tendenz des Ansteigens gegen W und dementsprechend der Schichtzunahme gegen O.

Unabhängig von LÖSCH kam MYLIUS 1914 dazu, sowohl O—W-Bewegung im Wetterstein, als auch S—N-Bewegung von Mieminger-Arnspitzen und Vorbergzug über die jungen Schichten und über das Wetterstein anzunehmen, also ähnlich wie AMPFERER. Faltung und Schub verlegt MYLIUS beides in das Oligocän, die Drucksteigerung in dieser orogenetischen Phase führt zu Überschiebungen in N—S- und S—N-Richtung, später erfolgt mit der Drehung der Kraftrichtung O—W-Bewegung, wobei die früheren Überschiebungsflächen als Gleitbahnen dienen.

Noch einmal äußert sich AMPFERER, 1914: Vorbergzug und Wettersteingebirge gehören nicht zusammen, das Puitental ist ein Scheinfenster, und nur im Wamberger Gebiet ist ein echtes Fenster, durch welches der Untergrund der Lechtaldecke sichtbar wird.

Dieses sog. „Fenster von Wamberg“ habe ich bisher ganz beiseite gelassen. Es ist aber nötig, es in den Kreis der Betrachtung hereinzu ziehen. Wie erwähnt, sind dort die Partnachschichten mächtig entwickelt, dagegen fehlt der Wettersteinkalk und über den Partnachfolgen unmittelbar die Raibler Schichten. Der Gedanke an eine fazielle Vertretung von Wettersteinkalk durch Part-

nachschichten liegt daher nahe, um so mehr, als im ganzen übrigen Gebiet die Folge Muschelkalk—Wettersteinkalk—Raibler Schichten entwickelt ist.

Alle Autoren beschäftigen sich nun auch mit dieser Möglichkeit, aber schließlich lehnen sie doch alle dieselbe ab und sehen im Wamberger Gebiet ein Fenster von Muschelkalk und Partnachschichten, über welche Raibler Schichten geschoben sind. Eine Ausnahme macht nur C. SCHMIDT, 1915, welcher davon ausgeht, daß das ganze Wetterstein eine Deckfalte aus älterer Trias über den jungen Schichten im S und W, über Raibler Schichten im N sei, so daß im Wamberger Gebiet kein Fenster, sondern eine Deckscholle von Muschelkalk und Partnachschichten über Raibler Schichten anzunehmen wäre.

Eigene Beobachtungen hatten mir schon 1908 die mechanische Unwahrscheinlichkeit der Überschiebung von Raibler Sandstein und Mergel über Partnachmergel bei Zurückbleiben des Wettersteinkalks, sowie die Wahrscheinlichkeit der faziellen Vertretung eröffnet und seitdem hat jede neue Begehung des Gebiets mich in dieser Auffassung bestärkt. Zu der gleichen Ansicht war auch 1916 MYLIUS gekommen und seine Beobachtungen bilden eine gute Stütze für meine eigenen.

Ich stelle kurz die Tatsachen zusammen: Im Hauptteil des Wettersteingebirges geht der Muschelkalk nach oben ohne scharfe Grenze in Wettersteinkalk über, der seinerseits von den petrographisch so vielgestaltigen Raibler Schichten überlagert wird. Im Wamberger Gebiet dagegen sehen wir die Folge Muschelkalk—Partnachschichten—Raibler Schichten. Keine Spur von Wettersteinkalk ist zwischen Partnach- und Raibler Schichten sichtbar, aber auch kein sicherer Beweis dafür, daß die An- und Überlagerung von Partnach- und Raibler Schichten rein tektonisch entstanden ist. Vielmehr gehen die dunklen schiefrigen Mergel der Partnachschichten mehr oder weniger allmählich in die dunklen grüngrauen, von schiefrigen Mergeln gleicher Art wie die Partnachmergel lagen- und linsenweise noch durchsetzten Sandsteine über, welche dort die tiefste Abteilung der Raibler bilden.

Wenn wir uns die Entstehungsart der verschiedenen Gesteine vor Augen halten, läßt sich dieser Fazieswechsel leicht erklären: im Gebiet des Wettersteinkalks erfolgte vorwiegend Riff- und Rasenbildung (durch Kalkalgen und Korallen) auf Untiefen des Meeresbodens bei epirogenetisch

sinkender Unterlage, während daneben im tieferen Meer die feinkörnigen Partnachmergel zum Absatz kamen.

Auch der Umstand, daß am Nordfuße des Waxensteinkammes geringmächtige Partnachschichten von Wettersteinkalk überlagert werden, spricht nicht gegen diese fazielle Erklärung. Denn irgendwo mußten schon bei ihrer Bildung beide Faziesbezirke aneinandergrenzen, und die Lagerung am Fuß des Waxenstein am Eindruck, als ob dort die Riffbildung das Gebiet der Mergelbildung seitlich etwas überwuchert hätte, so daß dort nur anfänglich Partnachschichten, dann aber Wettersteinkalk abgesetzt wurde. Daher ist dort die Schichtfolge: Muschelkalk—Partnachschichten—Wettersteinkalk—Raibler Schichten, welche aber für das Wetterstein nicht die normale Folge, sondern nur die einer schmalen Übergangszone ist.

Die Untersuchung solcher fazieller Übergangs zonen ist aber von größter Wichtigkeit für die Feststellung der ehemaligen Faziesgebiete. Überhaupt ist bezüglich der faziellen Verschiedenheiten in unseren Alpen noch viel zu tun und auch die Untersuchung der Formationen im Hinblick auf ihre Entstehungsart zwecks Klarlegung der paläogeographischen Verhältnisse muß viel mehr als bisher betrieben werden.

Aber auch für die Erklärung des mannigfaltigen Baus der Alpen sind solche Untersuchungen von Wichtigkeit. Wohl in keinem Gebiet der Erde herrscht ein so lebhaft häufiger Wechsel der Gesteine sowohl in vertikaler, als auch in horizontaler Richtung. Es gibt Formationsstufen in den Alpen, welche an jeder Stelle anders ausgebildet sind, nicht nur in benachbarten Gebieten, sondern selbst in einer einzigen, einheitlich gebauten Gebirgsgruppe.

Wegen der verwirrenden Fülle solcher Einzelausbildungen ist die Forschung notgedrungen dazu übergegangen, größere Faziesbezirke abzugrenzen, welche durch vorherrschende Ausbildungsart gewisser Stufen bezeichnet sind, — aber selbst wenn wir uns auf eine Einteilung nach diesen Faziesbezirken beschränken, ergibt sich die Tatsache einer zeitlich und örtlich oft und rasch wechselnden Sedimentation, häufiger Zufuhr von terrigenem Material, Bildung mächtiger Riffe, Vorhandensein von Untiefen, überhaupt einer rasch wechselnden, im allgemeinen nicht sehr großen Tiefenlage des Meeres-

bodens, auf welchem sich die Sedimente der Alpen bildeten.

Im bayrischen Teil der Kalkhochalpen lassen sich so in der Triasformation drei Hauptgebiete unterscheiden: im W das Vorarlberg—Algäu—Lechtaler Gebiet mit Arlbergschichten und Hauptdolomit, daran schließt sich, durch Übergänge verknüpft, das Gebiet mit vorherrschendem Wettersteinkalk und Hauptdolomit, im O endlich liegt das Gebiet der Berchtesgadener Fazies mit Ramsaudolomit—Dachsteinkalk.

Besonders auffallend schon in der äußeren Tracht sind die Unterschiede zwischen dem Osten und dem übrigen Gebiet. Hier vorwiegend lange Ketten, dort hauptsächlich wenig gegliederte, massig aufsteigende Gebirgsstöcke mit Plateauflächen und flacher Lagerung der Schichten, wie sie am schönsten die Südabstürze der Kalkalpen gegen die Grauwackenzone zeigen — das sind Unterschiede, welche beweisen, daß trotz ungefähr gleicher Stärke der orogenetischen Wirkungen die verschiedene tektonische Struktur in hohem Maße abhängig ist von der Beschaffenheit der am Bau beteiligten Gesteine.

Die Schichtreihe des Wettersteingebirges (von der Besprechung von Einzelheiten muß ich hier abssehen!) reicht von der anischen Trias bis zum Neokom, umfaßt also den größten Teil der Absätze, welche zwischen der herzynischen und der mittelkretazischen Orogenese gebildet wurden.

Aus dem, was ich vorhin sagte, ergibt sich, daß dieser lange Zeitraum für das Kalkalpengebiet alles eher als eine ununterbrochene, gleichmäßige Sedimentation am Boden eines tiefen, küstenfernen Meeres bedeutet. Die Mannigfaltigkeit der Fazies spricht dagegen. Es haben Bodenschwankungen stattgefunden, Senkungen, aber auch Hebungen, wie aus der Beschaffenheit der Raibler Schichten hervorgeht, selbst Landbildungen sind erfolgt (Dachsteinkalk—Lias).

Auf jeden Fall erweisen sich die Sedimente der Kalkalpen als Bildungen verhältnismäßig wenig tiefen Meeres und stark abhängig von den Landgebieten im S und N, dem zentralalpinen und dem vindelizischen Lande. Beide Gebiete lieferten Baustoffe für die Sedimente in verschiedenem Maße, und es ist eine Hauptaufgabe, die Herkunft

der terrigenen Bestandteile in den Sedimenten der Nordkalkalpen klarzulegen.

Diesbezüglich zeigt sich der Einfluß des zentralalpinen Landes ja mit größter Deutlichkeit in den Grundkonglomeraten der skythischen Trias, in dem allmäßlichen Verschwinden der größeren Bestandteile gegen oben, entsprechend der mehr und mehr erlahmenden Erosion auf dem Lande, bis dann nach der mittelkretazischen Orogenese plötzlich von neuem grobe Schuttmassen in das Kalkalpengebiet verfrachtet werden, wie sie am schönsten und am überzeugendsten die 600 m mächtigen Gosaukonglomerate des Muttekopfes im SW des Wettersteingebirges zeigen.

Es handelt sich nun darum, im Wetterstein, wie überall in den Ostkalkalpen, die Wirkungen der beiden Orogenesen, der mittelkretazischen und der tertiären, auseinander zu halten. Dann ergibt sich für die erste Orogenese ein verhältnismäßig einfaches Bild:

Ein ziemlich regelmäßiger Faltenbau beherrscht das ganze Gebiet. Die Falten streichen in W—O-Richtung, parallel dem herzynischen Gebirge im Zentralalpengebiet, und sind noch heute auf weite Erstreckung sichtbar. Besonders deutlich wird das bei Betrachtung der Mulden, welche von den jüngsten Schichten der zusammenhängenden Folge (skythische Trias—Neokom) ausgefüllt sind.

Es zeigt sich hier auch die starke Abhängigkeit der kretazischen Gebirgsbildung von der herzynischen. Durch diese war für das Kalkalpengebiet, wenigstens im S, ein fester Rahmen geschaffen, verhältnismäßig stabil sich verhaltend gegenüber der kretazischen Orogenese, während nördlich dieses Rahmens ein Bereich mobiler Schichten lag.

Daraus erklärt sich auch die Regelmäßigkeit der kretazischen Faltung!

Keine Widerstände älterer, bereits gefalteter und stabil gewordener Massen waren in diesem südlichen Teil des Kalkalpengebietes zu überwinden. Erst am Nordrand machten sich die Einwirkungen des gleichfalls herzynischen vindelizischen Landes geltend, welche zu dem verwickelteren Bau der nördlichen Randzone führten.

Es sind im Prinzip und genetisch die gleichen Erscheinungen, welche von ALB. HEIM für die Schweizer Alpen angenommen werden: das Gebiet zwischen zwei herzynisch

versteiften Zonen wird zusammengepreßt. Dem insubrischen Gebirge entspricht hier das zentralalpine, der Kette der äußeren Zentralmassive das vindelizische.

Und im Grunde ist es das gleiche, was auch bei anderen Gebirgen, welche durch zwei oder mehr Orogenesen entstanden sind, zu beobachten ist: der Widerstand der älteren stabileren Teile, die Mobilität der jüngeren Zonen.

Wie in den Gebirgen Innerasiens die tertiäre Orogenese Faltung und Überschiebung nur in den Randgebieten erzeugen konnte, wobei die Bewegungsrichtung gegen außen, gegen die Vorländer, ging, ebenso sind in den Alpen die Bewegungen der postherzynischen Orogenesen gegen außen gerichtet, in den Nordalpen gegen N, weil die Vindelizische Schwelle, infolge Abtragung oder Versenkung nur noch geringen Widerstand leisten konnte, und entsprechend in den Südalpen gegen S, gegen die Tiefschollen des Po- und Adriagebiets.

Wenn im Amphitheater von Irkutsk präkambrische „Rückfaltung“ gegen innen (N) erfolgte, so offenbart sich auch darin nur das gleiche Grundgesetz der Gebirgsbildung:

Orogenetische Bewegung erfolgt in Richtungen, welche die leichteste Bewegungsmöglichkeit bieten, wirkt am stärksten in den jeweils mobilsten Zonen und wird durch stabile Zonen maßgebend beeinflußt.

Es ist erfreulich, daß jetzt auch für die Alpen der Einfluß früherer Gebirgsbildung mehr und mehr berücksichtigt wird. Damit ist ein großer Schritt vorwärts getan. Denn solange für die Alpen nur die tertiäre Orogenese als maßgebend angesehen wurde, war eine Klärung der Entwicklungsgeschichte der Alpen unmöglich. Erst wenn sich die Alpengeologen mit dem Gedanken vertraut machen, daß auch für die Alpen, wie sonst überall, die geologische Vorzeit nicht nur als Baustofflieferant, sondern auch als Baumeister wichtig ist, wird die Auffassung verschwinden, daß grundsätzliche Verschiedenheiten zwischen außeralpiner und alpiner Tektonik bestehen.

Nach dem Gesagten stelle ich mir die Entwicklungsgeschichte des Wettersteingebirges folgendermaßen vor:

Durch die mittelkretazische Orogenese entstand ein einfaches Faltengebirge: Mulde des Vorlandes — Sattel von Wamberg und Höllental — Mulde Kranzberg—Reintal—Platt — Sattel des südlichen Hauptkammes — Mulde der jungen Schichten — Sattel der Vorberge — Mulde des Gaistals — Sattel der Mieminger Kette.

Dieser Bau ist durch die späteren tektonischen Eingriffe vielfach verändert. Zunächst wurden die breiten ruhigen Falten versteilt und verengt. Ferner zeigt sich vor allem in den inneren Teilen eine Zertrümmerung durch steile Verwerfungen mit Bewegungen von Schollen vertikal und horizontal, Verwerfungen, welche nur zum Teil auf der Karte eingezeichnet werden konnten. Sie sind am zahlreichsten dort, wo Kalksteine mächtig entwickelt sind (Muschel-, Wetterstein-, Raibler Kalk), ferner an der Grenze Wettersteinkalk—Raibler, hier zum Teil als Überschiebung des älteren (Jägersteig, Gemsanger=Überschiebung des Südflügels nach N über den Muldenkern), fehlen aber auch im Hauptdolomit nicht, wo sie nur schwer nachweisbar sind.

Alle diese Störungen sind ohne größere Bedeutung für den Gebirgsbau. Wichtig dagegen sind die Störungen am Außenrande im S und W.

Die jüngeren Schichten (Neokom—Lias, zum Teil auch Rhät) grenzen dort an Muschel- und Wettersteinkalk und an zwei Stellen (Puitental und Westrand) ist sicher Überschiebung der unteren Trias über Jura und Neokom vorhanden. Im Puitental ist sie sogar auf beiden Seiten das Tal erscheint als Fenster, aber vergebens sucht man in der streichenden Fortsetzung der jungen Schichtzone gegen W nach weiteren Beweisen für Überschiebung. Statt dessen zeigen sich dort unzweifelhafte Belege für O—W-Bewegung in glatten Verwerfungs-wänden mit horizontalen Rutschstreifen (Schüsselkarspitze) an der Nordseite des Zuges der jungen Schichten, während die Südseite begrenzt wird durch Raibler und zum Teil Hauptdolomit, welche konkordant mit den jungen Schichten steil nördlich oder überkippt steil südlich fallen.

Diese Südbegrenzung der jungen Schichten, der Vorbergzug, ist der Rest eines Sattels und zugleich Nordflügel der Gaistalmulde, welche ihrerseits wieder in zum Teil anormalem Kontakt mit dem Sattel der Mieminger steht.

Der Vorbergzug ist nun in sehr hohem Maße durch Diagonalstörungen zerschnitten, die einzelnen Schollen sind

gegeneinander verschoben, die ganze Zone besteht aus einem Schollenmosaik, vornehmlich aus Wettersteinkalk und Raibler, aber auch aus Muschelkalk und Hauptdolomit.

Dazu kommt das Bild des Zuges der jungen Schichten (spärlich Kössener, dann Lias, Oberer Jura, Neokom) mit enger steiler Faltung, wechselnd von einfacher bis zu vierfacher Mulde mit Sätteln dazwischen.

So steht der südliche Gebirgsteil in starkem Gegensatz zu der ruhigen Faltung des Hauptteils.

Großen Einfluß auf die Ausbildung dieses Gegensatzes hat sicher die Verschiedenheit der Schichten, der Wechsel von Kalkstein und Mergel bei geringerer Mächtigkeit der einzelnen Formationsstufen, woraus sich im ganzen größere Faltungsfähigkeit ergibt.

Diese Eigenschaft der jüngeren Schichten war überhaupt bestimend dafür, daß gerade hier solche Komplikationen der Lagerung entstanden.

Wir stehen an einer Schwächezone, welche die Hauptcompensation des Gebirgsdruckes während der tertiären Orogenese ermöglichte und alle die vielfältigen Störungen sind darauf zurückzuführen.

Wie leicht beweglich die Zone der jungen Schichten war, zeigt sich auch sehr gut im Westteil. Dem Issental-köpfl ist ein schmaler Streifen quergestellter NNW—SSO-streichender Oberer Jura- und Neokom-Schichten vorgelagert, und am Westrand des Gebirges sind die W—O-streichenden gleichen Schichten bei der Überschiebung der Triasmassen um 90° gedreht, so daß sie parallel mit der Trias streichen. Endlich liegt am Ehrwalder Köpfl ein Fetzen von Oberem Jura auf und unter Muschelkalk, vom Untergrund abgerissen und an einer Schubfläche im Muschelkalk nach W mitgeschleppt.

Damit komme ich auf Art und Richtung der Bewegungen. Während bei der kretazischen Orogenese meridionaler Druck O—W verlaufende Falten erzeugte, mußte sich der Bau mit Notwendigkeit bei Eintritt neuer orogenetischer Vorgänge komplizieren. Ob dabei eine andere Druckrichtung herrschend war, oder ob der Druck hauptsächlich wieder meridional wirkte, möchte ich nicht weiter berühren.

Hier sollen nur die Tatsachen angeführt werden.

Klar zeigt der Westrand Bewegung O—W als Überschiebung. Im Puitental ist Überschiebung an der Nordseite sicher, sehr wahrscheinlich auch an der Südseite. Richtung N—S bzw. S—N.

Zwischen beiden Stellen, also auf eine Strecke von 11 km, ist keine Überschiebung, sondern nur steile oder senkrechte Verwerfung sichtbar.

Das legt den Gedanken nahe, daß nicht Überschiebung, sondern steile Verwerfung die maßgebende Störungsf orm ist. Dazu kommt, daß als einzige sichere Anzeichen für die Richtung der Bewegung an dieser Störungslinie horizontale Rutschstreifen auftreten. Sie be weisen, zusammen, mit der am Westrand sichtbaren Überschiebung, eine O—W - Bewegung. Die Überschiebung im Puitental ist eine Teilerscheinung dieses Bewegungs vorgangs, die Überschiebung am Westrande aber fügt sich harmonisch in das Bild der nach W bewegten Schub masse, am Stirnrande derselben gelegen.

Auch die M i e m i n g e r K e t t e zeigt ähnliche Verhältnisse. Von der Pestkapelle nach W und SW ist sie durchweg über die jungen Schichten an ihrem Fuße nach NW überschoben, gleiches zeigt sich am Nordfuß der Heiterwand.

In ähnlicher Weise ist im Karwendelgebirge Bewegung der aus den älteren Formationsstufen gebildeten Sattelzonen über die vorliegenden Muldenzonen der jüngeren Schichten zu sehen. Weitere Beispiele ließen sich noch in großer Zahl anführen.

Das alles spricht dafür, daß der Druck der ter tiären Orogenese innerhalb des Gebirges seine stärkste Auslösung erfahren hat in solchen, durch Gesteinsbeschaffenheit und kretazische Orogenese hierfür vorbestimmt en Zonen.

Denn die aus den älteren, weniger mobilen Formations stufen bestehenden Zonen konnten im Tertiär nur ver hältnismäßig wenig zusammengeschoben werden, weil sie den größten Teil ihrer Faltungsfähigkeit schon eingebüßt hatten. Selbstverständlich wurden sie noch stärker zusammengedrückt und gefaltet, dabei erfolgte die Zerbrechung in Schollen mit Verschiebung gegeneinander und die Ver schmälerung der ursprünglich breiten Falten.

Die Hauptwirkung der tertiären Orogenese aber erfolgte an den Schwächezonen des alten Falten-

landes. Solche Schwächezonen waren vor allem die Übergänge zwischen Anti- und Synklinalen, in welchen die inzwischen durch Abtragung freigelegten älteren, spröderen, stabileren Massen von den jüngeren, plastischeren, mobileren abgelöst wurden. Dort mußten sich die tektonischen Wirkungen am stärksten äußern, wie aus den Verhältnissen am Süd- und Westrand des Wettersteins hervorgeht. Dabei war die Hauptbewegung O—W, an der jungen Zone entlang und zum Teil auch über sie hinaus. Durch diese Bewegung der großen Wettersteinmasse wurde auch die nächste Sattelzone (Vorberge) in ihrem Bau erheblich verändert.

Deshalb erscheint die O—W-Bewegung sehr bedeutungsvoll für das Gebiet. Auf die weite Verbreitung und große Häufigkeit solcher Bewegungen in den Ostalpen brauche ich hier nicht näher hinzuweisen. Seit ROTHEPLETZ die wichtige Rolle dieser Bewegungen erkannt hat, sind aus so vielen Gebieten solche Bewegungen nachgewiesen, daß es kaum mehr angängig ist, sie als neben-sächlich anzusehen.

Das Ausmaß dieser Bewegungen war — und es ist nach dem, was bisher gesagt wurde, fast unnötig, dies zu betonen — nur gering. Die Förderweite der Schubmasse bleibt unbedeutend, das geht schon daraus hervor, daß am Nordrande des Wettersteingebirges auf große Strecken normaler Verband mit dem Vorlande besteht.

So ergibt sich aus allen Beobachtungen immer klarer die Einsicht, daß das Gebirge *bodenständig* ist und nur geringe horizontale Bewegungen erfahren hat, welche nicht vermochten, das Gebiet aus seinem ursprünglichen Zusammenhang erheblich herauszureißen.

Damit soll nicht behauptet werden, daß in den Nordkalkalpen überhaupt keine größeren horizontalen Bewegungen erfolgt seien. Aber es besteht, meiner Ansicht nach, kein Grund für die Annahme, daß die Gesteine der Kalkalpen in weiter Entfernung von ihrem heutigen Verbreitungsgebiete gebildet wurden. Die Bewegungen in den Kalkalpen sind gewissermaßen interne, hervorgerufen durch die Verschmälerung des Gebietes und demzufolge sowohl Schuppungen und Faltungen innerhalb des kalkalpinen Gebietes, als auch an seinen Grenzen gegen und über die anstoßenden Zonen, im N über vindelizische und helvetische, im S

gegen die Grauwackenzone, im W gegen den Westalpenbogen.

Alle diese Bewegungen, deren Richtung verschieden ist, je nach den örtlichen Bedingungen des Druckes, des Widerstandes verschieden alter Teile, der größeren oder kleineren Faltungsfähigkeit einzelner Schichtfolgen, der durch Abtragung und Erosion geschaffenen Ausweichmöglichkeiten, haben in ihrer Gesamtheit das wechselvolle Strukturbild geschaffen, welches die bayerischen Kalkalpen heute zeigen.

L i t e r a t u r :

- ROTHPLETZ: Ein geologischer Querschnitt durch die Ostalpen. 1894. Geolog. Alpenforschungen, II, 1905.
- AMPFERER: Geologische Beschreibung des Seefelder, Mieminger und südlichen Wettersteingebirges. Jahrb. d. K. k. Reichsanst., 55, 1905.
- REIS: Erläuterungen zur Geologischen Karte des Wettersteingebirges I. Geogn. Jahresh., 1910.
- SCHLAGINTWEIT: Die Mieminger—Wetterstein-Überschiebung. Geol. Rundschau, III, 1912.
- AMPFERER: Gedanken über die Tektonik des Wettersteingebirges. Verh. d. K. k. Reichsanst., 1912.
- SCHLAGINTWEIT: Zum Problem des Wettersteingebirges, Ebenda, 1912.
- v. LOESCH: Der Schollenbau im Wetterstein- und Mieminger Gebirge. Jahrb. d. K. k. Reichsanst., 64, 1914.
- MYLIUS: Berge von scheinbar ortsfremder Herkunft in den bayerischen Alpen. Mitt. d. Geogr. Gesellsch. München, 1914.
- AMPFERER: Besprechung mit SCHLAGINTWEIT, v. LOESCH und MYLIUS über das Wettersteingebirge. Verh. d. K. k. Reichsanst., 1914.
- SCHMIDT: Das Vorkommen von Gelbbleierz im Höllental bei Garmisch. Zeitschr. f. prakt. Geolog., 1915.
- MYLIUS: Einige Beobachtungen zur Geologie des Wettersteingebirges. N. Jb. f. Min., 1916, 1.
- LEVY: Diluviale Talgeschichte des Werdenfelser Landes und seiner Nachbargebiete. Ostalp. Formenstudien, Berlin 1920.
- LEUCHS: Die Ursachen des Bergsturzes am Reintalanger im Wettersteingebirge. Geolog. Rundsch., XII, 1921.
- Geologischer Führer durch die Kalkalpen vom Bodensee bis Salzburg. München 1921.
- Über Grundfragen alpiner Geologie. Zeitschr. d. D. Geolog. Ges., 73, 1921.

K a r t e n :

- REIS-PFAFF: Geologische Karte des Wettersteingebirges 1:25 000, 2 Blätter, München 1911.
- AMPFERER: Geologische Spezialkarte Österreichs, Blatt Zirl-Nassereith 1:75 000, Wien 1912. (Nur österreichisches Gebiet!)
- Karte (topographische) des Wettersteingebirges 1:50 000. 2 Blätter, Herausgegeben vom Bayr. Topogr. Bureau, München (Nr. 97, West und Ost).