

I. Aufsätze und Mitteilungen.

Der Bau der Südrandstörung des Wettersteingebirges.

Von Kurt Leuchs.

(Mit Tafel III und 8 Textfiguren.)

Die Störungszone an der Südwestseite des Hauptkammes des Wettersteingebirges vom Puitental bis zum Gatterl ist schon lange bekannt und auf den geologischen Karten von REIS-PFAFF im Maßstab 1:25 000¹⁾, AMPFERER im Maßstab 1:75 000²⁾ dargestellt. Ihre Bedeutung für den Bau des Wettersteingebirges und der Kalkhochalpen ist sowohl in den Begleittexten zu diesen Karten als auch in anderen Veröffentlichungen zur Geologie des Wettersteingebirges von einer Reihe von Autoren in verschiedener Weise behandelt worden. Auf diese wechselnden Meinungen will ich hier nicht weiter eingehen. Dagegen möchte ich die Aufmerksamkeit auf einige Tatsachen lenken, die auch mir selbst, mangels eingehender Einzelstudiums der Störungszone, bis vor kurzem entgangen waren. Von den dort kartierenden oder sonstwie tätigen Geologen waren sie zwar teilweise schon festgestellt, ihre große Häufigkeit und ihre daraus hervorgehende Bedeutung für den Bau des Gebietes war jedoch nicht gebührend gewürdigt worden.

Ein Blick auf die verschiedenen geologischen Karten des Gebietes zeigt die Darstellung dieser Störungszone in Form einer im einzelnen etwas geschwungenen, im ganzen aber ziemlich geraden O—W streichenden Linie (Abb. 1 der Taf. III). Ihr geradliniger Verlauf deutet auf steile bis senkrechte Stellung einer Längsverwerfung. Gegen die Annahme einer solchen scheint jedoch der bekannte Aufschluß an der Nordseite des Puitentales zu sprechen, an dem eine Überschiebung von Muschelkalk über Oberjura und Neokom sichtbar ist. Daraus wurde, im Zusammenhang mit der (nicht unmittelbar aufgeschlossenen) Überschiebung des Muschelkalkes über Neokom an der Südseite des Tales, gefolgert, daß im Puitental Oberjura und Neokom in einem Fenster zutage treten und daß die Überschiebungsfläche an der Nordseite durch spätere Steilstellung das heutige Aussehen erhalten habe.

Gegen diese Deutung habe ich mich des öfteren gewandt, so bei der von mir geführten Exkursion der Deutschen Geologischen Gesellschaft 1923 und zuletzt noch in der Geologie der Bayrischen Alpen 1927, weil nach der ganzen Sachlage und dem Fehlen von deutlichen Überschiebungserscheinungen im weitaus größten Teil der 11 km langen Störungszone die Annahme einer auf der ganzen Strecke wirksamen Überschiebung unzureichend begründet erschien.

Indessen konnte nach den Kartierungen der beiden geologischen Landesanstalten der Tatbestand als genügend klar festgelegt betrachtet werden. Ich war deshalb sehr überrascht, bei meinem Besuch der Erinnerungshütte am Scharnitzjoch im Jahre 1926, wobei ich auch an den Fuß der Schüsselkar- und Scharnitzspitze kam, eine Reihe von Tatsachen feststellen zu können, die weder

¹⁾ Geol. Karte des Wettersteingebirges, 2 Bl., München 1911.

²⁾ Geol. Sp.-Karte Österreichs, Bl. Zirl-Nassereith, Wien 1912.

zu der Vorstellung einer steilgestellten Überschiebung noch zu der einer Längsverwerfung in W—O-Richtung passen. Schneefall verhinderte damals die weitere Untersuchung und ähnlich erging es mir 1927, als ich dort weiter arbeiten wollte. So konnte ich erst 1929 die Störungszone in ihrer ganzen Ausdehnung untersuchen.

Vorausgeschickt seien noch einige Bemerkungen über das topographische Kartenmaterial. Die beste Darstellung geben die Blätter Zugspitz 888, Dreitorspitz 889 der bayrischen topographischen Karte im Maßstab 1:25 000. Bei diesen auch den österreichischen Anteil enthaltenden Blättern ist dieser aus dem topographischen Atlas von Bayern 1:50 000 durch Vergrößerung erhalten, für den wieder die österreichischen Meßtischblätter 1:25 000 die Unterlage bildeten. Es wurde demnach zuerst die nicht durchaus richtige österreichische Karte verkleinert, wodurch eine Menge von Einzelheiten ausfiel und dann das auf diese Weise gewonnene Kartenbild wieder vergrößert.

Noch weniger genau war die topographische Unterlage für die geologische Karte von REIS-PFAFF, wie sich aus einem Vergleich ergibt. Das erklärt die wesentlich einfachere Darstellung der Störungszone auf der bayrischen Karte, während bei der österreichischen Karte der kleinere Maßstab noch weniger auf Einzelheiten einzugehen erlaubte. Für meine Darstellung hat diese Beschaffenheit der topographischen Karte die notwendige Folge, daß es mir nicht möglich war, alle besonders bezeichnenden Stellen durchaus richtig einzutragen. Eine weitere Erschwerung bildete der kleine Maßstab. Zu einer genauen Darstellung der tektonischen Erscheinungen wäre eine topographische Unterlage im Maßstab 1:5000 nötig. Ich muß deshalb eine Anzahl von Aufschlüssen in besonderen schematischen Skizzen wiedergeben und muß mich darauf beschränken, nur die auffälligsten Störungslinien auf der Kartenskizze (Abb. 2 der Taf. III) einzutragen. Die wesentlichen Eigenschaften treten jedoch trotzdem klar hervor.

1. Die Aufschlüsse.

Ich beginne mit der Puitentalüberschiebung im Osten (1 der Abb. 2). Dort ist am Fuße der Oefelekopf-Südwand die markanteste Stelle die durch einen großen Gufel (= Höhlung) bezeichnete. Der Gufel ist rund 10 m hoch und tief, hat unten 8 m, oben 5 m Breite. Sein hinterer Teil ist ausgefüllt mit Neokommern, die, sich im ganzen der Hohlform des Gufels anschmiegend, ein steiles Gewölbe bilden, im einzelnen aber stark gefältelt und zerknittert sind (Fig. 3). An der Decke des Gufels liegen noch schmale, stark gefaltete und zerfetzte Streifen von roten und weißlichen Oberjuramergeln, die zusammen mit Neokommernlagen in die das Dach des Gufels durchsetzenden Spalten hineinziehen. Die beiden Seitenwände des Gufels werden von zwei N—S streichenden Verwerfungsflächen gebildet, die Neigungen von 70—80° nach außen haben und dadurch die Verengung des Gufels nach oben erzeugen.

Die Überschiebung der Mergel durch den Muschelkalk ist hier einwandfrei aufgeschlossen auf 10 m. Muschelkalk, Oberjura und Neokom fallen im allgemeinen, abgesehen von den örtlichen Störungen im Gufel, 10—15° N.

Ein zweiter kleiner Gufel etwas weiter westlich, mit 7 m Tiefe, zeigt ebenfalls 10—15° N fallende Mergel von N fallendem Muschel-

kalk überschoben. Fig. 4 gibt die (nicht maßstäbliche) Entfernung beider Gufel voneinander. Zugleich lassen sich auf diesem schematischen Grundriß die Lagerungserscheinungen der ganzen Strecke östlich vom großen Gufel nach Westen bis dorthin, wo stärkere Schuttbedeckung näheren Einblick erschwert, erkennen. Vom großen Gufel nach Osten wird zunächst eine 310° streichende Verwerfung mit $5\text{--}10^{\circ}$ gegen W geneigten Rutschstreifen angetroffen, die rechts oberhalb des Gufels die Wand durchsetzt. Der Außenrand der Wand streicht 90° , auch er wird von einer horizontal gestriemten Verwerfung gebildet, an deren Fuß das Neokom mit gleicher Streichrichtung liegt. Eine 180° streichende (Quer-) Verwerfung verschiebt den Rand etwas nach N, es folgt eine deutliche steile 90° streichende Überschiebung und diese wird dann abgelöst durch eine 300° streichende Verwerfungsfläche, die mit dieser Richtung aus der Wand heraustritt und allmählich in die Richtung W—O umbiegend, die Randstörung bildet.

Gleiches ist westlich des großen Gufels zu sehen. Zuerst streicht die Wandfläche O—W, dann biegt sie allmählich um bis in 290° , wobei sie zugleich etwas überkippte Stellung annimmt, so daß das Bild einer steilen Überschiebung entsteht. Dann streicht diese Verwerfungsfläche, ebenso wie die östlich des großen Gufels, jetzt wieder senkrecht stehend, in die Wand hinein weiter und ihre Rolle am Außenrand, der mit 90° weiter zieht, übernimmt eine neue in dieser Richtung streichende Verwerfungsfläche.

In ihr ist der kleine Gufel ausgehöhlt, bei dem wieder Überschiebung sichtbar ist. Westlich davon erfolgt neues Umbiegen der Randfläche bis 300° , auch dort ist Überschiebung deutlich zu sehen (kleine Quelle), Neokom und Oberjura fallen 25° N unter den Muschelkalk.

Diese Randfläche endet an einer Querverwerfung, die den Rand der Muschelkalkwand um ein beträchtliches Stück nach N verlegt, bis dann wieder eine mit 270° beginnende und langsam in 290° umbiegende Verwerfungsfläche den Rand bildet, mit steiler Überschiebung über das Neokom.

Der Verband zwischen Muschelkalk und Neokom an der zuletzt erwähnten Querverwerfung zeigt eine bedeutende Aufpressung des Neokoms (Fig. 5). Denn während an der dort 300° streichenden Längsverwerfung noch steile Überschiebung auftritt, und demgemäß das Neokom nur am Fuß der Wand liegt, erfolgt an der Querverwerfung ein Umbiegen der Streichrichtung des Neokoms entsprechend dem Zurücktreten der Kalkwand. Das Neokom schmiegt sich durchaus der Wand an, und reicht zugleich mit fast senkrechter Schichtstellung um rund 80 m höher an dieser Querwand hinauf als an der östlich folgenden Längswand.

Das ist wohl nur zu erklären als Aufpressung durch die niedersinkende und entsprechend starken Druck ausübende Masse des Muschelkalkes. Im großen Gufel zeigt sich ja ein ähnlicher Vorgang.

Dort ist bei der Überschiebung die im Verhältnis zum Muschelkalk plastische Mergelunterlage nicht nur stark gefältelt und zerknittert, sondern auch in die Hohlräume des Muschelkalkes und selbst in die engen Spalten teigartig hineingepreßt worden. Der starke Mobilitätsunterschied zwischen dem ungefalteten Muschelkalk, der nur durch Brüche zerschnitten ist, und dem heftig gequälten Mergel tritt dort klar in Erscheinung.

Eine andere Frage ist aber, ob diese 80 m vertikal aufsteigende Mergelmasse auch nur wie am großen Gufel in einen Hohlraum des Muschelkalkes von unten her eingepreßt wurde, oder ob nicht gerade dieses starke und steile Aufsteigen dicht neben der Überschiebung am Fuße der 300°-Verwerfung darauf hindeutet, daß dort im Gegenteil eine Druckentlastung erfolgte. Mit anderen Worten: beweisen diese aufsteigenden Mergel vielleicht den primären Außenrand der Muschelkalkmasse?

Eine nähere Erörterung der Frage möge unterbleiben, bis die ganze Zone im Zusammenhang besprochen ist.

Die zuletzt erwähnte 290°-Verwerfung streicht ebenfalls wieder in die Wand hinein und wird durch eine 90°-Verwerfung abgelöst; durch eine Querverwerfung wird dann die Felswand nach N gerückt, darauf bildet wieder eine ca. 90° streichende Verwerfung den Rand, bis mit einer weiteren Querverwerfung der gleiche Bauplan sich wiederholt. Dann löst sich die geschlossene Wand in vereinzelte aus dem Schutt aufragende Felspartien auf und bald danach ist bis westlich vom Söllerpaß die Kontaktzone durch mächtige, großenteils latschenbewachsene Schutthänge verhüllt.

Bei 2 beginnen wieder gute Aufschlüsse. Der östliche Schenkel eines einspringenden Winkels der Wand wird von einer 300° streichenden senkrechten Verwerfung gebildet. Bald danach streicht die senkrechte Randverwerfung 45°, an ihrem Fuß streichen senkrecht stehende Oberjuramergel ihr parallel. Gegen Westen ändert sich die Richtung, die Verwerfung streicht jetzt 90° bei 80° N-Fallen, wobei die Mergel wieder ihr parallel stehen.

Wenig östlich von dieser Stelle, unterhalb der geschlossenen Felswand, liegt ein 4 m langer, in der Mitte etwa 60 cm breiter, nach Osten sich ausdünnender, nach Westen umbiegender und an einer kleinen Querverwerfung abgeschnittener Streifen von roten und grau-grünen Oberjuramergeln zwischen Muschelkalk. Ein zweiter solcher Streifen von 8 m Länge und 50 cm Breite, senkrecht stehend und stark gequält, liegt 8 m tiefer und östlicher. Auch er keilt gegen Ost aus. Unter ihm, hangabwärts, steht noch 15 m weit Muschelkalk an bis zum Schutt. Derartige im Kalk eingeklemmte Fetzen treten auch westlich des Puitentales auf.

Die Fortsetzung der Wandflucht läßt wieder sehr deutlich die komplexe Natur der Randfläche erkennen. Es ist durchaus keine

einheitliche, in einer bestimmten Richtung sich erstreckende Verwerfungswand, vielmehr ist sie aus einer Unmenge von Einzelverwerfungswänden zusammengesetzt. Ich konnte dort außer der am

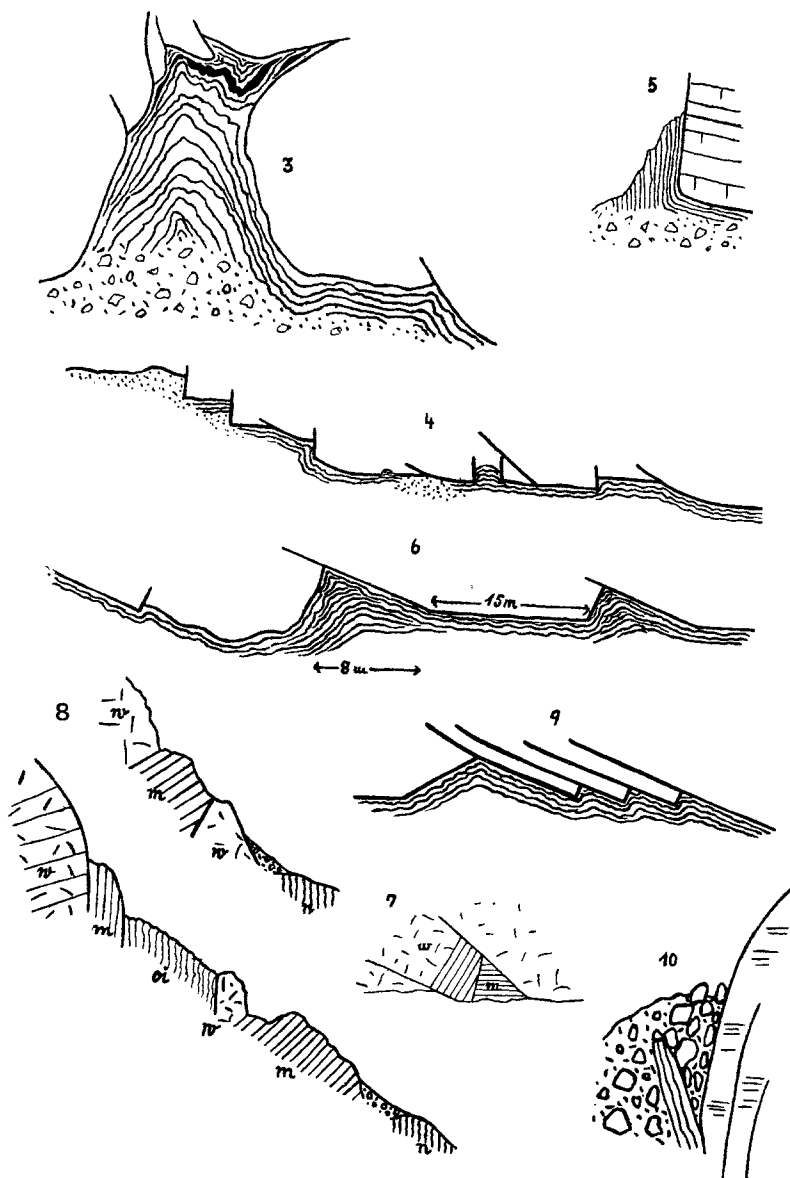


Fig. 3—10 (Fig. 1 und 2 finden sich auf Tafel III).

häufigsten auftretenden Richtung von 290° — 300° noch die Richtungen 20° , 10° , 45° feststellen. Dazu tritt immer wieder die O—W-Richtung.

Bei 3 tritt die Entstehungsart einspringender Winkel deutlich hervor (Fig. 6). Der Übergang von 270° zu 290° erfolgt dabei meist

als Knick durch das Zusammenstoßen der beiden Verwerfungsflächen, während bei der Gufelpartie vorwiegend Umbiegen der Flächen stattfindet. Die Mergel am Fuß der Wand stehen senkrecht und schmiegen sich im Streichen durchaus den Wandteilen an. In den einspringenden Winkeln erscheinen sie angeschoppt, gelegentlich auch stärker gefältelt. Im Querprofil ist an vielen Stellen die Konkordanz zwischen Verwerfungswand und Mergel zu sehen, dagegen kein Anzeichen für eine Überschiebung.

4 und 5 liegen am Fuße der Schlüsselkarspitz-Südwand. Hier treten im wesentlichen zwei große senkrechte Verwerfungsflächen auffallend hervor. Ihr Streichen ist 290° , eine dazu senkrechte Verwerfung erzeugt den gestaffelten Wandfuß zwischen ihnen. Die Verwerfungsflächen haben Rutschstreifen, die mit $10-20^{\circ}$ bzw. $20-30^{\circ}$ gegen West geneigt sind. Wichtig ist, daß auch hier die Verwerfungen in die Wand hinein weiter streichen. Es zeigt sich demnach hier das gleiche wie tiefer am Wandfuß östlich davon und es sei vorausgreifend schon jetzt gesagt, daß solche Ablösung von Verwerfungen durch anders streichende ein bezeichnendes Merkmal des ganzen Randes der Felsmauern bis zum Westende ist.

Die angrenzenden Mergel des Neokoms, zu denen sich häufig und dann fast stets am nördlichen Rand oder in dessen Nähe liegend schmale Streifen von Oberjuramergeln gesellen, mit lebhaften Farben (rot, weißlich, grüngrau), deshalb von den Neokommern leicht zu unterscheiden, stehen bei 4 und 5 senkrecht und schmiegen sich allen Wandflächen an, so daß sie mit diesen vor- und zurückspringen. Es besteht die Möglichkeit (sichere Entscheidung erlaubt der Aufschluß nicht), daß dicht östlich des von der Wand zum Scharnitzjoch nach S sich erstreckenden Rückens eine schwache Überkipfung vorhanden ist, da die Mergel dort steil $70-80^{\circ}$ N fallen. Das ist aber auch das einzige beobachtete Anzeichen für eine Bewegung, die allenfalls, wenn man will, als Überschiebung bezeichnet werden könnte. Im übrigen herrscht dort durchaus die senkrechte Anlagerung an die senkrechten Verwerfungsflächen. Das Fehlen tiefer Einschnitte läßt nicht erkennen, wie weit nach unten sich diese Art des Kontaktes fortsetzt.

Gegen Überschiebungen spricht auch die Tatsache, die am Ansatz des Scharnitzjochkammes zum erstenmal deutlich sichtbar wird, nach W hin dann noch öfters auftritt, daß nämlich die Mergel am Kamm weiter nach N reichen als beiderseits davon. Sie stoßen am Kammansatz W—O streichend unmittelbar an 30° N fallenden dünnbankigen Muschelkalk und im Profil gibt sich die Grenze klar als senkrechte Verwerfung zu erkennen, die ungefähr 6 m vertikal aufgeschlossen ist. Die Kalkwand hat W—O-Streichen und Rutschstreifen, die $30-40^{\circ}$ W fallen. Gegen W biegt diese Verwerfungsfläche um in 290° und streicht in die Wand der Scharnitzspitze hinein.

Nach W lassen sich Verwerfungen in großer Zahl feststellen (auf der Skizze sind aus den schon erwähnten Gründen nur die wichtigsten eingetragen). Sie stehen meist sehr steil bis senkrecht, die Verwerfungsflächen sind glatt und eben oder gewölbt (konvex oder konkav), ohne oder mit Rutschstreifen, die meistens $20-30^\circ$ gegen Westen geneigt sind. Vertikale Rutschstreifen wurden nicht beobachtet. An ihren glatten Flächen sind die Verwerfungswände stets gut kenntlich, durch ihre große Ausdehnung unterscheiden sie sich leicht von Spaltflächen, die durch Sprengwirkung in den Außenteilen entstanden sind. Die steile bis senkrechte Stellung läßt Verwitterung nur in sehr geringem Maße zu.

Etwa 200 m westlich des Scharnitzjochkammes (6 der Skizze) befindet sich eine 270° streichende glatte Verwerfungswand, die teils senkrecht steht, teils 85° N fällt, 20 m weiter westlich liegt unter dem hellen massigen Wettersteinkalk konkordant mit diesem 60° N fallend ein 8 m mächtiger Streifen von dunklem dünnbankigem Hornstein führendem Muschelkalk. Er streicht schräg zur Wand, im westlichen Teil mit 30° , jenseits einer 15° streichenden senkrechten Verwerfung mit 90° bis zu einer zweiten Verwerfung mit 310° , die 80° S fällt und in die Hauptwand hineinstreicht. Der ganze Aufschluß ist etwa 10 m breit (Fig. 7). Westlich von ihm streicht eine senkrechte Verwerfung mit 295° in die Wand hinein, mit Rutschstreifen $10-20^\circ$ W.

Bei 7 der Skizze liegt wieder ein eingeklemmter Streifen von Oberjura im Kalkstein (Fig. 8, unteres Profil). Die Wand endigt mit einer 280° -Verwerfung, die bis zum Hauptkamm am Oberreintalschrofen reicht. Sie ist stark gewölbt, so daß ihre Neigung von 50° allmählich bis 90° wächst. Dazu ist sie in zwei Abteilungen gestaffelt, die obere am Wetterstein, die untere am Muschelkalk entlang streichend. Die Wölbung ist auch bei der unteren Abteilung vorhanden. Rutschstreifen ($10-20^\circ$ W) bedecken diese Flächen. An ihrem Fuß liegt der Oberjura als 10 m breiter und in O—W-Richtung etwa 30 m langer Streifen. Er ist stark gequält, steht aber im allgemeinen senkrecht und streicht parallel der Wandfläche. Auch südlich des Oberjura liegt noch eine schmale Rippe von massigem Wettersteinkalk, der von Hornsteinkalk unterteuft wird. Dessen Streichen ist 280° bei 45° N-Fällen. Der Kontakt mit dem hangabwärts anstehenden Neokom ist durch Schutt verdeckt.

Im Osten keilt der Oberjura aus (Fig. 8, oberes Profil), dort zeigt sich eine steile Schuppung von Muschel- über Wettersteinkalk. Gegen West stößt der Oberjura an eine gequälte Scholle von Muschel- und Wettersteinkalk, die selbst wieder von mehreren queren Verwerfungen durchschnitten ist.

Die Fortsetzung der Wand nach West läßt infolge starker Schuttbedeckung keinen Kontakt mehr erkennen, so daß sich für diesen Teil

nichts Genaueres darüber sagen läßt. Das vollständige Fehlen von Überhängen und Gufelbildung am Wandfuße spricht jedoch auch hier, wie schon in dem ganzen Stück von der Gufelpartie im unteren Puitental an gegen eine Überschiebung, ganz abgesehen davon, daß auch Lagerung und Tektonik keinen Hinweis auf eine Überschiebung geben.

Erst 10 m östlich des vom Roßberg zur Wand ziehenden Kammes ist der Kontakt wieder sichtbar. Eine etwa 270° streichende Verwerfung, die teils 80° N fällt, teils senkrecht steht, zeigt die parallele Anlagerung des senkrecht stehenden Oberjura (bei 8).

In der Wand selbst ist ein schmales, schräg nach Osten aufwärts ziehendes Band des dünnbankigen Muschelkalkes sichtbar, der bei 40° W-Fallen mit 10° streicht, ein Anzeichen für den wenigstens teilweise komplizierten Bau der Kalksteinmasse selbst. Die massige Ausbildung des unteren Wettersteinkalkes erschwert die Feststellung der Einzelheiten dieses Baues bzw. macht sie unmöglich, aber die schmalen Bänder des dünnbankigen Muschelkalkes, die zumeist schief aufwärts verlaufen, geben hin und wieder Andeutungen von den tektonischen Störungen in der Felsmasse.

Auch westlich des Roßbergkammes steht Oberjura an, der (bei 9) mit $60\text{--}70^{\circ}$ N-Fallen unter eine etwa 50° N fallende, 300° streichende Verwerfungsfläche des Wettersteinkalkes einfällt. Hier ist am Kontakt eine Andeutung von Gufelbildung vorhanden. Entsprechend dieser Überkipfung der Randverwerfung reichen in der nun folgenden schwach halbkreisartig zurückweichenden Wandstelle (bei 10) die Mergel, hier Neokom, 15—20 m weiter nach N als am Kamm. Das spricht für Fortsetzung der Überkipfung und sogar für flachere Neigung der überkippten Verwerfungsfläche. Trotzdem stehen im Hintergrunde dieses Halbkreises Randverwerfung und Neokommargel senkrecht bei 270° Streichen. Gleich danach ist die Verwerfung wieder überkippt, 65° N, dann wieder senkrecht und hat Rutschstreifen von $10\text{--}20^{\circ}$ W. Daran schließt sich eine 300° -Verwerfung, die in die Wand hineinstreicht.

Jenseits (bei 11) springt die Wand vor; erst 10, dann 20 bis 80 m reicht der helle Wettersteinkalk weiter nach Süd. Nahe dem Südeinde dieses Kalkspornes liegt dünnbankiger Muschelkalk mit O—W-Streichen und 40° S-Fallen im Wettersteinkalk, gegen W keilt der helle Kalk aus und der Muschelkalk bildet dort das Ende des Spornes. An seinem Fuß liegen Mergel des Oberjura und Neokom.

Vom Südeinde des Sporns streicht eine senkrechte 300° -Verwerfung in die Wand hinein und weitere zum Teil parallele, zum Teil 290° -Verwerfungen sind vorhanden. Auch die Kalksteine streichen jetzt in dieser Richtung, der Muschelkalk, der am Sporn noch 270° und 40° S-Fallen hatte, streicht jetzt 300° bei 20° S-Fallen und wenig westlicher fällt der Wettersteinkalk bei gleichem Streichen 40° N.

Am Rande sind meist 270° -Verwerfungen zu sehen. Da aber der Rand nach SW vorspringt, müssen auch Querverwerfungen vorhanden sein. Eine bzw. mehrere solcher sind schon für die Herausbildung des Spornes bei 11 anzunehmen und gleiches gilt für die ganze Strecke bis zum Ostrande des Kares unter dem Oberen Hundstallkopf, auf der noch mehrere senkrechte 290° -Verwerfungen deutlich hervortreten. Die Richtung der sichtbaren Querverwerfungen wechselt zwischen 20° und 40° , im allgemeinen ist sie senkrecht zu den Hauptverwerfungen.

Das Kar südlich des Oberen Hundstallkopfes (bei 12) bietet wegen der starken Schuttbedeckung wenig Aufschlüsse. Ziemlich sicher streicht eine senkrechte 290° -Verwerfung vom Sporn der östlichen Karbegrenzung quer über das Kar unter der Felsstufe in seiner Mitte und weiter in die jenseitige Wand hinein, wo sie eine leichte Umbiegung erfährt, so daß sie dort zuletzt 315° hat. Soweit die Mergel an der Verwerfung aufgeschlossen sind, stehen sie senkrecht und streichen ihr parallel. Zu dieser Hauptverwerfung treten mehrere parallele mit gleicher Umbiegung. An der westlichen Karbegrenzung ist eine senkrechte 270° -Verwerfung deutlich sichtbar, an sie schließt sich mit Richtung 60° gegen das obere Ende des Kares ziehend eine 20° N fallende Verwerfung, die auf die 290° -Verwerfung stößt. Im ganzen ergibt sich folgendes schematisierte Bild (Fig. 9): An der flach N fallenden 60° -Verwerfung ist eine schwache Überschiebung erfolgt, die sich durch Ausbildung von kleinen Überhängen zeigt. Der helle Wettersteinkalk ist an den Verwerfungen teilweise stark rot gefärbt, Reibungsbreccien kleben noch an verschiedenen Stellen der Verwerfungswände, die zum Teil gewölbt sind und horizontale oder bis 10° O geneigte Rutschstreifen besitzen. Die Mergel des Neokoms, an einigen Stellen auch schmale zerknitterte Fetzen von Oberjura, streichen zumeist parallel den Verwerfungen; an einer Stelle sah ich auch eine diskordante Anlagerung (Fig. 10). 8—10 m über der flachen Verwerfung liegt ein 3 m mächtiges Band des dünnbankigen Muschelkalkes, der mit 40 — 60° N fällt, darüber folgt wieder der helle Wettersteinkalk.

Das Weiterstreichen der 60° -Verwerfung läßt sich nicht sicher feststellen, ist jedoch nach der gesamten Geländegestaltung anzunehmen. Es ergibt sich dann als erstes die Bildung der 290° -Verwerfungen mit ihrem durch kleine Querbrüche gestaffeltem Rande und unmittelbar anschließend die Entstehung der 60° -Verwerfung, die bei ihrem schwachen Vorschub gegen SO die liegenden Mergel umgebogen hat, so daß sie wie die Verwerfungsfläche selbst 20° N fallen, während sie an den 290° -Verwerfungen wie diese senkrecht oder nahezu senkrecht stehen. Der unmittelbare zeitliche Zusammenhang zwischen der Bildung der beiden verschiedenen Verwerfungsrichtungen geht aus der Tatsache hervor, daß die Mergel ohne stärkere

Bruchbildung aus der einen in die andere Richtung übergehen, wie die Abbildung zeigt.

Die nächsten guten Aufschlüsse liegen 600 m weiter westlich (bei 13). Eine senkrechte W—O-Verwerfung bildet dort den Rand, neben ihr stehen Oberjura und Neokom parallel streichend senkrecht, während bei der folgenden Verwerfung Fallen von 45° N herrscht, wobei sofort wieder die Gufelbildung, wenn auch in sehr geringem Maße, einsetzt.

Es folgt eine Strecke von 700 m, die durch die Kombination von O—W-Verwerfungen mit solchen von 330° ausgezeichnet ist (bei 14). Diese Richtung ist vielleicht auch schon auf der vorhergehenden Strecke vorhanden, worauf die randliche Gliederung der Felsen hindeutet. Die O—W-Verwerfungen stehen senkrecht, ebenso die Oberjuramergel, während bei einer der 330° -Verwerfungen eine Neigung von 80° O festgestellt wurde. Im ganzen ergibt sich aus der Verbindung beider Streichrichtungen wieder eine Staffelung des Randes, ohne daß dabei eine Zerreißung der Mergel erfolgt ist. Die Diagonalverwerfungen sind demnach auch hier nicht Ergebnis eines späteren Bewegungsvorganges.

Südlich des Hochwanner (bei 15) sind streckenweise noch O—W streichende senkrechte Randverwerfungen erhalten. Dazu treten 290° -Verwerfungen in größerer Zahl, die sich teilweise ziemlich weit in die Felsmasse hinein verfolgen lassen. Sie bringen vielfach die Bildung von schräg in westlicher Richtung ansteigenden Terrassen hervor, während die immer wieder auftretenden Bänder des dünnbankigen Muschelkalkes ganz unten oder über etwa 10 m mächtigem Wettersteinkalk schräg in östlicher Richtung aufwärts ziehen.

Die Hänge am Fuße der Wände sind mit großen Mengen frischen Schuttes bedeckt. Die Ursache der besonders starken Schuttförderung des Jahres 1929 ist in der starken Frostsprengung in dem Felsgebiet infolge der langen großen Winterkälte zu suchen. Zugleich sind aber auch schluchtartige Erosionsrinnen bis zu 8 m Tiefe in den Schutthängen ausgefurcht worden und durch solche Ausfurchungen parallel einzelnen Wandteilen am Rande sind diese bis 5 m tief vom Schutt frei gefegt worden, ohne daß die Mergel dadurch schon entblößt sind. So läßt sich feststellen, daß sich die senkrechten Verwerfungsflächen noch weiter in die Tiefe fortsetzen, wesentlich tiefer als dort, wo die Mergel am Kontakt aufgeschlossen sind.

Die allgemein starke Schuttbildung wird wesentlich erleichtert und befördert durch die intensive tektonische Zerstückelung der Südseite des Hauptkammes. Im Hochwannerkar z. B. ist der Wettersteinkalk von unzähligen, in verschiedenen Richtungen verlaufenden Verwerfungen durchsetzt, dadurch wird die Brüchigkeit und der Zerfall des Gesteins erleichtert und die Folge ist die Be-

deckung des ganzen Gehänges mit Trümmern und Scherben, die den Aufstieg auf die Kammhöhe besonders unangenehm gestalten.

Westlich des Hochwannerkars (bei 16) sind noch verschiedene, 270, 285 bzw. 290° streichende senkrechte Verwerfungsflächen, teils den Rand bildend, teils in die Wand hineinziehend, mit Anlagerung von senkrechtem Oberjura oder Neokom, zu sehen. Unter dem Westlichen Kleinwanner (bei 17) tritt eine von der 290° streichenden Randverwerfung sich abspaltende und mit 310° in die Wand fortsetzende Verwerfung deutlich hervor. Der Rand des Felskammes wendet sich dort entschieden nach WNW, was auf das Vorherrschen der 290°-Richtung schließen läßt.

Das letzte Stück bis zum Gatterl dagegen (bei 18) ist bei O—W streichendem, senkrecht stehendem Muschelkalk bezeichnet durch Randverwerfungen gleicher Richtung und Neigung mit horizontalen Rutschstreifen. Die beiden 30°-Verwerfungen sind von der bayrischen Karte übernommen, wo sie als vermutet eingetragen sind. In Wirklichkeit sind natürlich, wie in dem ganzen untersuchten Gebiete, viel mehr Verwerfungen vorhanden, und besonders in diesem letzten Stück ist die tektonische Zertrümmerung außerordentlich stark. Es hängt das mit der das Gatterlgebiet durchziehenden Querverschiebungszone zusammen, zu der auch die beiden 30°-Verwerfungen gehören.

2. Ergebnisse

Die Einzeluntersuchung hat, trotz den eingangs gekennzeichneten Schwierigkeiten und Unvollständigkeiten der Aufnahme, zu einer Reihe von Ergebnissen geführt, die in verschiedener Hinsicht Beachtung verdienen. In erster Linie sind sie geeignet, einen Beitrag zur tektonischen Struktur des Wettersteingebirges zu liefern und die Frage nach Art und Bedeutung der Störungszone am Südfuße des Hauptkammes der Lösung näher zu bringen, in zweiter Linie können sie Aufschluß geben über Bewegungsvorgänge und relative Bedeutung dabei entstehender Störungsformen, sowie über das verschiedene Verhalten petrographisch sich stark unterscheidender Gesteinsreihen.

Die auffallendste Feststellung ist die Zusammensetzung der nach ihrer langen, im ganzen geradlinigen Erstreckung und ihrem Einfluß auf die Formgestaltung des Gebietes durchaus einheitlich erscheinenden Störungszone aus vielen hunderten von Einzelverwerfungen in verschiedenen Richtungen.

Dazu kommt als zweites die Gleichwertigkeit der verschiedenen Richtungen bezüglich ihres Verhaltens gegenüber der Mergelreihe, da sich diese den wechselnden Richtungen der die Außenwände bildenden Verwerfungsflächen anschmiegt. Selbst die durch rechtwinklig sich ablösende Verwerfungsflächen entstandenen einspringenden Ecken der Wandflucht werden von den Mergeln aus-

gefüllt, ohne daß eine Fortsetzung der den Kalkstein durchschneidenden Verwerfungen in die Mergel hinein vorhanden ist. Es wäre an sich möglich, Unkenntlichkeit von Verwerfungen in den Mergeln anzunehmen, da diese häufig und besonders in den einspringenden Ecken stark zerknittert sind, aber bei genauer Untersuchung läßt sich doch stets das, abgesehen von der Änderung im Streichen, störungsfreie Weiterziehen der Mergelschichten erkennen.

Daraus ergibt sich entweder, daß die Entstehung der Verwerfungen im Kalkstein früher als die heute sichtbare Art des Kontaktes zwischen Kalkstein und Mergel erfolgt ist, oder, daß die tektonischen Vorgänge innerhalb der Kalkmasse unabhängig von solchen in den Mergeln vor sich gingen und auf diese nur geringe Wirkung ausübten.

Eine räumliche Trennung konnte aber nicht vorhanden gewesen sein, denn es streichen ja viele der Verwerfungen aus dem Kalkstein heraus an seine Außenseite und bilden dort die Grenze gegen die Mergel. Auch die vereinzelt aufgefundenen schmalen Fetzen von Mergeln (zumeist des Oberjura) im Kalkstein beweisen die enge räumliche Nachbarschaft beider Gesteinskomplexe zur Entstehungszeit der Verwerfungen. Es sind dabei randliche Teile der Mergel gelegentlich in die Kalkmasse hineingeraten und zwischen tektonischen Ablösungsflächen dieser Masse gequetscht worden, wie ihre gequälte Beschaffenheit und ihr Auskeilen zeigen.

Besonders wichtig ist ferner die Neigung der Verwerfungen. Die weitaus vorherrschende Regel ist senkrechte Stellung. Ihr gegenüber sind die beobachteten anderen Neigungen der Zahl nach so gering vertreten, daß sie nur als Ausnahmen gedeutet werden können, die durch besondere örtliche Verhältnisse entstanden sind. Ganz ohne Bedeutung in dieser Hinsicht sind natürlich die Fälle, in denen eine Verwerfungsfläche ihre Neigung von 90° in $80\text{--}65^\circ$ verändert.

Wo aber eine Verwerfungsfläche von geringer Neigung am Rande auftritt, führt sie mit Notwendigkeit infolge der Auflagerung auf den Mergeln zur Bildung von Überhängen und Gufeln. Diese sind, entsprechend der schwachen Neigung der Verwerfungsfläche ($10\text{--}25^\circ$), am schönsten im unteren Puitental ausgebildet und die Aufschlüsse dort haben deshalb auch zu der Annahme einer großen, die ganze Zone beherrschenden Überschiebung geführt. Da aber westlich davon keine weiteren Überschiebungen gefunden wurden — die wenigen dort von mir nachgewiesenen Stellen mit Überschiebung und Gufelbildung geringen Ausmaßes waren anscheinend bisher nicht bekannt, sind im übrigen auch zu unbedeutend —, so mußte bei Annahme einer auf der ganzen Strecke wirksamen Überschiebung deren nachträgliche Steilstellung gefordert werden.

Dem widerspricht jedoch der Befund. Denn es fehlt in erster Linie der einheitliche Ausstrich der Überschiebungsfläche und in zweiter Linie läßt sich auch keine Zerstörung dieser einheitlichen

Linie durch jüngere Brüche annehmen, weil ja die Brüche in der Kalkmasse nicht jünger sein können als die Entstehung des Kontaktes von Kalkstein mit Mergel.

Auch die Annahme einer starken Rückwitterung der Überschiebungsdecke bzw. die Herausbildung eines Streifenfensters zwischen Hauptkamm und Vorbergzone ist nicht zwingend, weil in den bei dieser Vorstellung durch Erosion freigelegten basalen Mergeln jede Spur einer mechanischen Beeinflussung durch die Schubmasse fehlt. Wie leicht und stark die Mergel durch die sich darüber schiebenden Kalkschollen umgebogen werden und sich der Neigung der Schubmasse anpassen, ist in den Gufeln des Puitentales, aber auch an den wenigen anderen Stellen mit Überschiebung deutlich zu sehen. Ebenso beweist das dauernd zu beobachtende Anschmiegen der Mergel an die Verwerfungsflächen die leichte Beweglichkeit der Mergelreihe.

Im ganzen sprechen diese Verhältnisse für die Richtigkeit der früheren Annahme einer steil bis senkrecht nach unten sich fortsetzenden Störung. Die Bewegungsrichtung an dieser Störung aber wird durch die immer wieder, vom unteren Puitental bis zum Gatterl, auftretenden Rutschstreifen klar. Denn nirgends konnten vertikal verlaufende Rutschstreifen festgestellt werden, die doch vorhanden sein müßten, wenn eine derartig mächtige Schubmasse von Süd nach Nord bewegt und nachträglich steil bzw. senkrecht gestellt worden wäre. Aus dem gleichen Grunde ist aber auch die Deutung der Störung als Vertikalverwerfung ausgeschlossen. Dagegen treten überall die schwach gegen West geneigten Rutschstreifen auf. Ihre Neigung beträgt meistens 10° – 20° , seltener 30° , ganz selten 40° , an einer Stelle wurde auch 10° gegen Ost festgestellt. Sie beweisen, nach der Art der Verwerfungsflächen, eine Summe von Differentialbewegungen, die gleichzeitig mit der Gesamtbewegung der Kalksteinmasse in O—W-Richtung erfolgt sind. Dabei entstanden stellenweise auch geringe Überschiebungen gegen S, infolge Herausdrängung einzelner Kalkschollen oder durch örtlich auftretende Stauungen verursacht. Die Hauptbewegung war aber die in der Richtung O—W.

Diese Differentialbewegungen erweisen sich als scherende Bewegungen innerhalb der sich vorschiebenden Gesamtmasse. Es ist nun ein sehr wichtiges Ergebnis der Kartierungen von REIS-PFAFF und AMPFERER, daß in der Vorbergzone ein spiegelbildliches Gegenstück zu diesen Verwerfungen vorhanden ist. Es zeigt sich nämlich dort eine größere Anzahl von schief zum allgemeinen Verlauf streichenden Verwerfungen, deren Richtungen zumeist 30° – 50° betragen. Nur im Westteil, in der Diagonalstörungszone des Gatterls, herrscht die für diese bezeichnende 30° -Richtung vor, im übrigen aber zeigt sich das Bild eines durch zahlreiche, zur allgemeinen Be-

wegungsrichtung schräg verlaufende Verwerfungen zerschnittenen Blockstreifens aus sprödem Kalkstein (Abb. 1 der Taf. III).

Seine Grenze gegen die Zone der jungen Schichten ist ähnlich wie gegenüber am Hauptkamm durch streichende Verwerfungen bezeichnet und ähnlich wie dort gehen die Diagonalverwerfungen öfters bei Erreichen des Randes in solche Längsverwerfungen über. Dagegen ist, abgesehen von den die junge Schichtenzone querenden Verwerfungen des Gatterlgebietes, die hier auszuschneiden sind, keine Fortsetzung dieser Diagonalverwerfungen durch die Zone der jungen Schichten hindurch in den Hauptkamm vorhanden. Das stimmt wieder überein mit den dort festgestellten Tatsachen.

Hervorzuheben wäre noch, als ebenfalls gegen die einheitliche Überschiebung sprechend, die Lagerung am Nordrande der Vorbergzone. Hier liegen über dem Wettersteinkalk die Raibler Schichten und stellenweise auch noch Teile des Hauptdolomites. Im ganzen bildet die Vorbergzone die südlich folgende, sich antiklinal aufwölbende Unterlage der Muldenzone der jungen Schichten, wobei die Schichtlücke zwischen beiden Zonen, besonders da die junge Schichtenzone am Südrande meist mit unterem Lias beginnt, wesentlich kleiner ist als an ihrem Nordrande, wo oberer Muschelkalk oder unterer Wettersteinkalk an Neokom angrenzen. Es läßt sich also auch aus diesem Grunde die Annahme einer später durch Aufwölbung von Basalgebiet und Schubmasse steil gestellten Überschiebung nicht halten, da Nord- und Südrand in keiner Weise miteinander zu vereinigen sind.

Weiteres Eingehen auf die Frage der von S her erfolgten Überschiebung liegt nicht im unmittelbaren Zweck dieser Arbeit, wenn es auch angebracht schien, gerade diese jener Annahme im Wege stehenden Schwierigkeiten noch einmal und besonders im Hinblick auf die neuen Befunde kurz hervorzuheben.

Andererseits bestärken mich die neuen Ergebnisse im Zusammenhang mit den tektonischen Verhältnissen im Vorbergzug in der schon früher vertretenen Auffassung. Das wesentliche daran ist die O—W-Bewegung des Wettersteingebirges im ganzen. Daß diese nicht sehr groß angenommen werden muß, habe ich ebenfalls schon früher dargelegt.

Bei dem vorwiegend spröden Material, um das es sich im Wettersteingebirge mit dem mächtig entwickelten Wetterstein- und Muschelkalk handelt und bei dem großen Mobilitätsunterschied zwischen älterer Trias einerseits, jüngerer Trias bis Neokom andererseits, ist die besondere Art der Bewegungen verständlich. Durch die mittelkretazische Faltung des Gebietes entstand eine Reihe von Anti- und Synklinalen, wobei wohl auch schon Auf- und Absteigen der Faltenachsen erfolgt ist. Dadurch wurde eine diesem Faltenbau entsprechende Abtragung hervorgerufen, so daß in den Antiklinalen die

leichter zerstörbare junge Schichtreihe entfernt wurde, in den Synklinalen mehr oder weniger erhalten blieb. Die tertiäre Orogenese wurde in ihrer Auswirkung durch den Gegensatz zwischen der dadurch frei gelegten älteren spröden und der jüngeren plastischen Schichtfolge beeinflusst. Diese wurde vorwiegend stärker zusammengepreßt und enger gefaltet, jene dagegen erlitt hauptsächlich blockförmige Bewegungen, wobei sie durch unzählige Brüche zertrümmert wurde. Der Zusammenhang im großen blieb jedoch erhalten, die vorher entstandenen Einzelteile, entsprechend der Gesamtgestaltung in O—W-Richtung langgestreckte Streifenschollen, wurden in der Hauptdruckrichtung O—W bewegt, so daß es zu Abspaltungen kam, die sich in dem Aufschub der Wettersteinmasse auf das westlich vorliegende Gebiet äußerten.

Im einzelnen zerlegt sich dieser Vorgang in Teilbewegungen der Streifenschollen. Als Hauptscholle tritt dabei hervor das Gebiet des südlichen Hauptkammes mit der Reintalmulde und der Höllentalantiklinale, eine weitere Teilscholle bildet die Vorbergzone, während die Zwischenzone als ursprüngliche Synklinale stark zusammengepreßt wurde und deshalb durch enge Faltung und Steilstellung ihrer Schichten bezeichnet ist.

Das hier skizzierte Bewegungsbild erhält eine gewichtige Stütze durch die Untersuchungsergebnisse, die CLOOS im Kristianiagebiet gewonnen hat³⁾. Die dort gegebene Darstellung der Hauptverwerfung an der Nesoddenküste zeigt eine Reihe von Tatsachen, die den im Wettersteingebirge festgestellten analog sind. Auch in Nesodden besteht die Hauptverwerfung nicht aus einer großen Fläche, sondern ist eine gestaffelte Reihe zahlreicher kleinerer Verwerfungsflächen. Sie streichen stets ein Stück weit am tektonischen Außenrand des gehobenen Ostblockes und setzen sich dann in diesen Block hinein fort, wobei sie entweder mit gleicher Richtung weiterstreichen oder bogenförmig umbiegen. Ihre Rolle als Randverwerfung geht über auf eine andere Verwerfung, die gleiches Verhalten zeigt. Dadurch entsteht eine Staffelung des Randes, die ihrem Wesen nach vollständig der Staffelung an der Hauptverwerfung des südlichen Wettersteinkammes gleich ist. Eine weitere Analogie besteht in den ungefähr rechtwinklig zur ersten Verwerfungsgruppe streichenden Querverwerfungen.

Wie schon aus dem verschiedenen Maßstab der Aufnahmen im Kristiania- und im Wettersteingebiet hervorgeht (dort 1:1000, hier 1:25000), ist es noch nicht möglich, einen Vergleich der feineren

³⁾ Bau und Bewegung der Gebirge in Nordamerika, Skandinavien und Mitteleuropa. Fortschr. d. Geol. u. Paläont., Bd. 7, Heft 21, 1928.

Textur- und Struktureigenschaften durchzuführen, besonders da auch die in Betracht kommenden Gesteine ganz andere sind. Trotzdem tritt im Kristianiagebiet der Unterschied zwischen sprödem und plastischem Gesteinsmaterial zu beiden Seiten der Hauptverwerfung ebenso deutlich hervor wie im Wettersteingebirge. Hier ist der Gegensatz durch Kalkstein und Mergel gekennzeichnet, dort besteht die tiefer liegende Zone im wesentlichen aus Schiefern, die höhere aus Gneis.

Besonders wichtig ist aber, daß im Kristianiagebiet eine befriedigende Erklärung der Verhältnisse zu beiden Seiten des Kontaktes durch ausschließlich vertikale Bewegungen nicht gelingt, so daß CLOOS zu dem Schlusse kommt: „Eine geringe Verschiebung des Westblockes gegen SSW an dem Ostblock entlang (oder umgekehrt) würde alle Erscheinungen liefern, die wir beobachten.“

Dieses Ergebnis von CLOOS für das Kristianiagebiet bestärkt mich in meiner Auffassung der Bewegungsvorgänge im Wettersteingebirge, wie ich sie zuerst 1923 veröffentlichte. Die neuen Untersuchungen stehen durchaus in Übereinstimmung mit dieser Vorstellung, vertiefen sie und fügen den 1927 gegebenen Belegen für die O—W-Bewegung weitere, besonders durch den Vergleich mit den Untersuchungen von CLOOS als wichtig hervortretende Belege an.

Zusammenfassung.

Auf Grund eingehender Untersuchung der Südrandstörung des Wettersteingebirges wird der Nachweis erbracht, daß sie nicht einheitlich, sondern aus hunderten von Einzelverwerfungen in verschiedenen Richtungen zusammengesetzt ist. Diese Verwerfungen mit nahezu horizontalen Rutschstreifen stehen senkrecht, die seltenen Ausnahmen führen zu Überschiebungen geringen Ausmaßes. Bezeichnend ist die plötzliche oder allmähliche Richtungsänderung der Verwerfungen und ihre Ablösung am Rande durch neue. Sie beweisen eine Summe von Differentialbewegungen gleichzeitig mit der Gesamtbewegung der Streifenschollen in O—W-Richtung. Das nötigt erneut zur Ablehnung einer einheitlichen, S—N bewegten Decke.

Auf die Übereinstimmung mit den Ergebnissen von CLOOS im Kristianiagebiete, wo ebenfalls seitliche Verschiebungen von Blöcken gegeneinander die einzige Erklärungsmöglichkeit bieten, wird hingewiesen.

Abb. 2

W

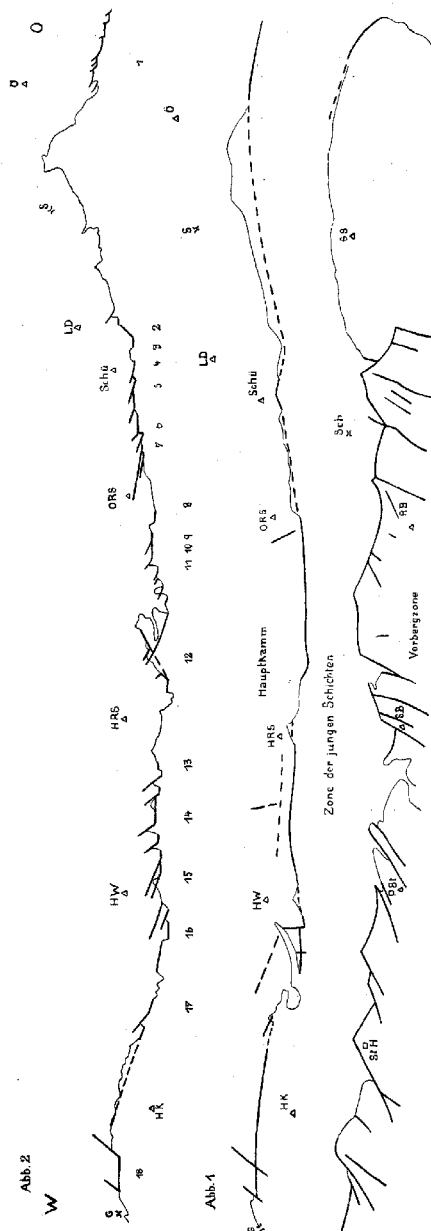


Abb. 1. Randstörungen von Hauptkamm und Verbergzone. Nach der Geol. Karte des Wettersteingebirges von Reiss und Pfaff.

Abb. 2. Randstörungen des Hauptkammes. Nach den Aufnahmen von Leuchs. Maßstab 1:50,000.

G = Gatterl, HW = Hochwanner, HRS = Hinterreintalshofen, ORS = Oberreintalshofen, Schld = Schlösselkarplatz, LD = Lentscher Dreitorspitze, S = Söllerpäß, Ö = Oetlekapf, HK = Hoher Kamm, HSt = Steinernes Hüttl, FSt = Predigstein, SB = Schloßberg, RB = Rofberg, Sch = Scharnitzjoch, GS = Gehrenspitz. Die Ziffern 1—18 der Abb. 2 bezeichnen die im Text ausführlich besprochenen Stellen.