
SITZUNGSBERICHTE

1925.

XVII.

DER PREUSSISCHEN

AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.

Sitzung der physikalisch-mathematischen Klasse vom 14. Mai.
Mitteilung vom 12. März.

Glazialgeologische Beobachtungen in den
bayerischen Hochalpen.

Alte Breccien und junge Krustenbewegungen
in den bayerischen Hochalpen.

Die Eiszeit in den bayerischen Hochalpen.

VON ALBRECHT PENCK.

Alte Breccien und junge Krustenbewegungen in den bayerischen Hochalpen¹.

VON ALBRECHT PENCK.

(Vorgetragen am 12. März 1925 [s. oben S. 140].)

Als Anregung zu weiteren Forschungen hat OTTO AMPFERER seine Arbeit über Gehängebreccien der nördlichen Kalkalpen bezeichnet (11). Nicht weniger als 35 Vorkommnisse in Tirol hat er größtenteils zuerst kennengelehrt. Die bayerischen hat er nicht behandelt. Zu ihrem Studium bot die Gegend von Mittenwald gute Gelegenheit, doch wurden auch einige von AMPFERER beschriebene Örtlichkeiten neuerlich untersucht. Sofern sich dabei Neues herausstellte, sei von ihnen zuerst berichtet.

Wiederholt hat AMPFERER ein Breccienvorkommnis im Hintergrunde des Karwendeltales beschrieben (8, S. 227. 11, S. 743). Es zieht sich vom Hochalpsattel zum Tale längs des kleinen, vom Sattel kommenden Baches herab. Dieser hat an seiner linken Flanke, von Höhenzahl 1687 m an, eine Breccienwand, gekrönt von Moräne. Rechts heißt Muschelkalk aus. Zwischen 1570 m und 1476 m sitzt die Breccie auf recht fester Grundmoräne mit selten gekritzten Geschieben auf. An sie denkt offenbar AMPFERER, wenn er von abgerundeten Stücken von Wettersteinkalk und feinerem Material in der Breccie spricht. Letztere besteht aus eckigem Material und fällt deutlich nach Süden — nicht wie AMPFERER angibt, nach Norden —, während ihre Sohle sich sowohl westwärts zum Karwendeltale als auch nordwärts zu unserem Bache hin senkt. Diese offenbart in 1550—1570 m Höhe eine große Gufel (Ausbröcklungshöhle; 18, S. 77) in der Breccie gerade über der Moräne. Die Hochalpbreccie ist also ebenso zwischen Moränen gelagert wie die von Hötting bei Innsbruck. Die mehrfach mit den Breccien des Wettersteingebirges erwähnte Ablagerung von den Öfen im oberen Leutaschtal (6, S. 178. 7, S. 336. 10, S. 529. 11, S. 749. 12, S. 79) gehört nicht zu den Gehängeschuttbildungen. Sie ist ein altes Delta, bestehend aus gerolltem Material des Gaistales; AMPFERER fand auch seltenes, zentral-alpines. Das Schichtenfallen ist unter 20°—30° ostwärts; rechts des Baches, der die Ablagerung nicht durchschneidet, liegt auf ihr Moräne auf. Ein altes Delta wird auch vom benachbarten Scharnitz- oder Klammgraben erschlossen. Hier ist das Material weniger gerollt und mehr eckig. Bis 1230 m ansteigend, fällt es nach Südosten. Weiter oberhalb liegt am Klamm-bache

¹ Zitate S. 302. Karte S. 350.

zwischen 1280 m und 1340 m sehr grobe Breccie, die eine Vertiefung im Dolomit ausfüllt und gleich dem tiefer gelegenen Delta von Moränen bedeckt wird. Die unterste Partie ist besonders grobblockig und enthält große, gerundete Geschiebe, die stellenweise in gelbem Lehm eingebettet sind. Ein einziges kristallines wurde gefunden. Bemerkenswert sind Rollsteine einer rötlichen Breccie mit rötlichen Kalken und rötlichem Bindemittel, die anstehend nicht bekannt ist.

Die alten Deltas bei den Öfen und dem Klamm-bache sind in den gleichen See von mindestens 1230 m Spiegelhöhe geschüttet, der heute nicht bloß zur Leutasch, sondern auch durchs Katzenloch (1222 m) zum Inn bei Telfs ablaufen könnte. Die höhere Breccie am Klamm-bach gehört zu ihnen als Ablagerung eines Wildbaches und Gehängebildung. Weiter unterhalb finden wir dann an der Leutasch zwischen dem Platzl und der Kirche horizontal geschichtete Schotter, die von Moränen bedeckt werden und gegenüber der Kirche solche unterlagern (22. S. 188). AMPFERER erblickt in ihnen lediglich eine Anlagerung an die höhere moränenbedeckte Terrasse, in der er in den oberen Mähdern unweit des Klamm-baches eine Nagelfluh gefunden hat und am Weidachsee die von uns gleichfalls als interglazial nachgewiesene Nagelfluh kennt (10, S. 530. 29, S. 38). Er ist geneigt, diese Nagelfluhbildungen mit denen des Klamm-baches und der Öfen als eine ältere Nagelfluhbildung interglazialen Alters zusammenzufassen, in welche die Schotter an der Leutasch wie in einem Tale eingelagert sein sollen. Dieser Ansicht kann ich mich nicht anschließen. Nach Lagerung und Auftreten gehören die flach geschichteten, also fluviatilen Schotter an der Leutasch und die Nagelfluh am Weidachsee zusammen. Sie sind beide zwischen Moränen gelagert und interglazial. Interglazial sind zwar auch die Ablagerungen an den Öfen und am Klamm-bache, denn sie werden von Moränen überlagert und enthalten erratisches Material. Aber sie verlangen als Bildungsort einen See von mindestens 1230 m Spiegelhöhe. Der See muß abgelassen gewesen sein, als sich die Schotter zwischen dem Platzl (1150 m) und Weidachsee (1098 m) ablagerten. Daher halten wir die Bildungen an den Öfen und am Klamm-bache für älter als die Schotter- und Nagelfluhablagerungen weiter abwärts. Es trifft nicht zu, daß letztere Gerölle die ersteren enthalten, wie 1922 angegeben wurde (22, S. 188), sondern sie führen Gerölle von ein und derselben roten Breccie unbekanntem Ursprunges. Es ist deswegen nicht nötig, sie in zwei verschiedene Interglazialzeiten zu verweisen; es ist auch denkbar, daß in den Deltaschottern an den Öfen und im Klamm-bache Äquivalente der sonst im Isartale verbreiteten interglazialen, lakustren Formation vorliegen, die wir in die Riß-Würm-Interglazialzeit verlegen. Damit soll aber nicht gesagt sein, daß sie im gleichen See abgelagert wurden.

Weiter abwärts im Leutaschtale hat AMPFERER am Nordabfalle des Zuges der Arnspitze eine verfestigte Gehängeschuttbildung angetroffen (10, S. 457. 11, S. 748), die mit erratischen Stücken überstreut ist. Sie erfüllt eine von der Hinteren Arnspitz gegen Lochlehen in der Leutasch herabziehende Gehängefalte. Zwei Runsen führen in dieser abwärts, welche jeweils ungefähr mit der Grenze der Breccie zusammenfallen, so daß diese im wesentlichen

auf den Riedel zwischen beiden beschränkt ist; oben greift sie etwas über die östliche, unten etwas über die westliche hinaus. In etwa 1500 m lehnt sie sich in beiden Runsen an eine höhere Felsstufe an. Sie besteht gewöhnlich aus grobem, verkittetem Blockwerk von Wettersteinkalk, welches sich unmittelbar auf solchen legt. Die höheren Partien sind feinstückiger. Wie AMPFERER habe ich in der Breccie zentralalpine Geschiebe nicht gefunden.

In 1300 m Höhe vereinigen sich beide Runsen zu einem typischen Lahner, an dessen rechter Seite sich Fels erhebt, während an der linken Seite Breccie manchmal auf einem Felssockel bis unter 1200 m herab verfolgt werden kann. Wenig unterhalb der Vereinigung der beiden Runsen, dort wo der von Lochlehen zur Arnspitz führende Weg in die Runse einbiegt, ist die Breccie mit Inntaler Moräne bedeckt, die sie glatt abschneidet. Einzelne etwas aufragende Fragmente der Breccie sind typisch in der Richtung des Leutaschtales geschrammt. Von hier baut sich eine steile Breccienhalde in das Leutaschtal, auf welcher der sich öfters gabelnde Arnspitzenweg nach Lochlehen herabführt. An einem westlichen Wegaste läßt die Breccie sich ziemlich ununterbrochen bis 1160 m herab verfolgen, an einem östlichen bis 1140 m. Tiefer trifft man in beiden Fällen betonartige Moräne mit seltenen kristallinen Geschieben. Durch ihre tillitartige Beschaffenheit weicht sie von der Hangendmoräne der Breccie ab, sowie von den sonst im Leutaschtale (z. B. 1 km weiter oberhalb im Bache) auftretenden Moränen. Am östlichen Wegaste tritt diese Moräne so dicht an die etwas höher gelegene, gut erschlossene Breccie heran, daß an einer Überlagerung durch letztere nicht zu zweifeln ist. Die nördlich der Arnspitze befindliche Breccie ist also gleich der Hochalpsattelbreccie zwischen Moränen gelagert und war bei Bildung der letzteren bereits verfestigt.

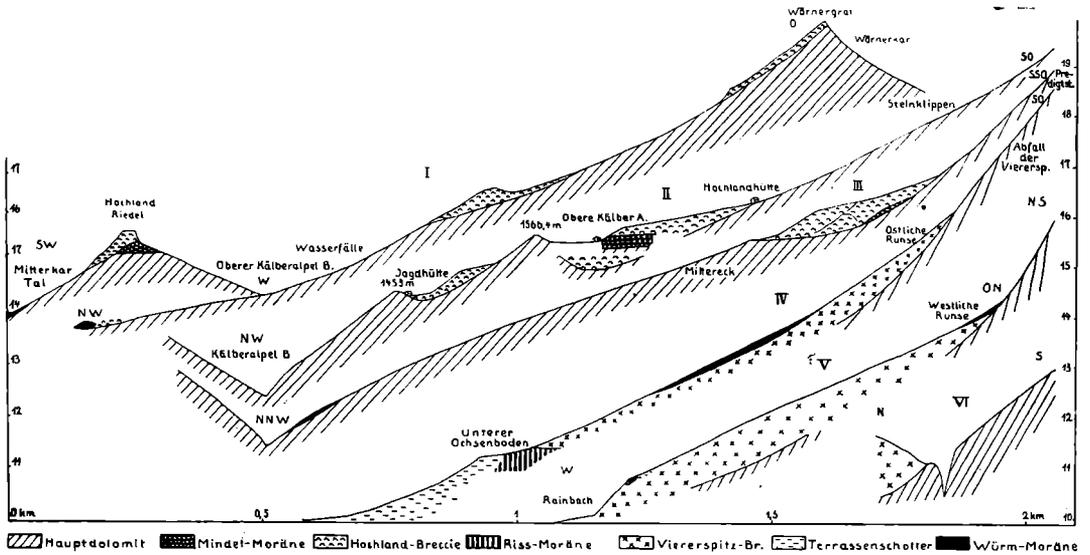
Ähnlich der Arnspitzbreccie lagert ein kleines Breccienvorkommen im Isartale oberhalb Mittenwald. Es liegt an der Mündung der Sulzleklamm gegen ihren Schuttkegel in 1140 m Höhe, also 200 m über Tal, während die Arnspitzenbreccie bis über 100 m über Tal herabreicht. Die steilfallende Schichtung vergewissert uns, daß es sich nicht etwa um die Spitze eines alten Schuttkegels handelt. Es liegt ein Stück alter Schutthalde, wenn nicht gar ein Stück alten Deltas vor. Als lakustro-glazial haben wir das von AMPFERER und HAMMER (5, S. 329) und dann von ersterem (11, S. 742) an der Mündung des Hinterautales in das Scharnitzer Becken gefundene Konglomerat bereits früher gedeutet (22, S. 187), ebenso die Nagelfluh an der Westseite des Riedbodens unterhalb der Mündung des tiefen Tales.

Gegenüber Mittenwald lehnt sich an den Nordabfall der Viererspitze nördlich der westlichen Karwendelspitze eine ausgedehnte Gehängeschuttbildung, die sich in Form einer deutlichen Schutthalde, anfänglich mit einer Böschung von 35°, tiefer mit geringerer zur Terrasse des Raineck und zum Ochsenboden¹ herabzieht (vgl. Fig. 1, IV/V). Sie besteht aus Trümmern der

¹ Es gibt bei Mittenwald zwei Ochsenboden; der eine liegt auf der Isarterrasse nordöstlich vom Raineckwalde; er möge hier als unterer, der unter dem Daumkare befindliche hingegen als oberer bezeichnet werden. Zu ihm führt von der Erzgrube aus der Ochsenbodenweg, zum ersteren der »untere« Weg.

südlich aufragenden Viererspitze (nördliches Karwendelkreuz 2053 m), nämlich aus meist über faustgroßen Brocken von Wettersteinkalk. Größere Trümmer sind selten. Die Bildung dieser Halde geschieht heute nicht mehr. Sie ist von Wald bedeckt, der bis an die Felswände heraufreicht. Auch ist die Schüttung der Trümmer nicht so locker wie an den heutigen viel höher gelegenen Schutthalden der nördlichen Karwendelkette. Gewöhnlich ist der Schutt ziemlich dicht gelagert, stellenweise ist er zu einer festen Breccie verkittet. In ihrem Aufbau gewährt die Schlucht, die sich von der Nord-

Fig. 1.



Profile durch die Hochland- und Viererspitze-Breccie 1 : 15000.

- I. Vom Wörnergrat über den Hochlandriedel zum Mitterkartal und abwärts im Kälberalpelbache.
- II. Von den Steinklippen am Fuße des Wörner über den Hochlandriedel zum Kälberalpelbache.
- III. Vom Predigtstuhl über den Mittereckriedel zum Kälberalpelbache.
- IV. Vom Abfalle der Viererspitze zum unteren Ochsenboden.
- V. Vom Abfalle der Viererspitze längs des oberen Ochsenbodenweges zum Rainbache.
- VI. Epigenetische Schlucht des Rainbaches oberhalb der Erzgrube.

seite der Viererspitze zum Rainbache bei der Erzgrube zieht, einen guten Einblick. Feste Breccie, von AMPFERER (11, S. 744) bereits erwähnt, reicht hier bis 1435 m herauf und stößt unmittelbar an die Wände des Wettersteinkalkes an. Weiter abwärts, vom Ochsenbodenwege gut sichtbar, tritt die Schlucht gerade an die Grenze der alten Gehängeschuttbildung und den Fels. Jene erscheint hier als ziemlich lockerer, steil geböschter Schutt. Man versteht hier, warum REIS und PFAFF die Ablagerung als rezenten Gehängeschutt kartiert haben (12). Noch weiter abwärts stellt sich wieder feste Breccie ein, deren Wände im wahren Sinne des Wortes groteske Formen aufweisen. Eine scharfe Grenze zwischen Schutt und Breccie ist nirgends zu erkennen. Beide sind verschieden stark verkittete Partien derselben Ablagerung. Die unterste Strecke der Schlucht durchbricht klammartig einen Vorsprung des Wettersteinkalkes und

schnürt von dessen Felswänden einen Pfeiler los, an den die Breccie unmittelbar anstößt. Es handelt sich um einen epigenetischen Einschnitt (Fig. 1, VI). Am Eingange dieser Schlucht (unter 1100 m) ist die Breccie besonders feinstückig.

Zwei Runsen ziehen sich an unserer Gehängeschuttbildung von den Wänden der Viererspitze in den Raineckwald herab. Die westliche wird vom Ochsenbodenwege bei Höhe 1394 m gequert. Sie erschließt schüttiges Material, welches an der rechten Seite der Runse in 1410 m von Moräne mit allerdings selten gekritzten Geschieben überlagert wird (Fig. 1, V). Unter dem Schutte stellt sich weiter aufwärts feste Breccie ein, die an Fels anstößt. In der östlichen Runse sieht man gleichfalls Schutt, unter welchem sich bergwärts Breccie hervorhebt, die in 1520 m Höhe an Felsen anstößt. Geht man in der Runse abwärts, so trifft man alsbald Moräne. Da auf ihr Quellen nicht auftreten, kann sie nicht das Liegende der Schuttbildung darstellen, sondern muß in deren Hangendes verwiesen werden. Noch weiter abwärts erreicht man wieder Breccie. Die Gehängeschuttbildung am Nordabfalle der Viererspitze wird also stellenweise von einem Moränenmantel überzogen und ist daher keine rezente. Nur ganz unbedeutende Schuttmassen dicht unter den Wänden der Viererspitze können als solche aufgefaßt werden.

Abwärts erstreckt sich die alte Gehängeschuttbildung der Viererspitze bis in das Bereich der interglazialen Schotterterrassen des Isartales, und zwar zieht sie sich im Raineckwalde unter die Schotter herab. Dies sieht man deutlich (Fig. 1, V) beim Anstiege des Ochsenbodenweges nördlich vom Schuttkegel des Rainbaches. Über letzterem erheben sich Breccienpartien, die bis 1020 m herabreichen. Nordwestlich davon liegt ein Schotterausbiß zwischen 1000 m und 1060 m Höhe, und zwischen den ersten Serpentinien des Ochsenbodenweges lagert in 1070 m Höhe Terrassenschotter auf Breccie. Ganz wenig weiter westlich und etwas tiefer wird diese von Moräne bedeckt, welche als ein Ausläufer der Moränendecke auf der Schotterterrasse erscheint. Unsere Gehängeschuttbildung gehört also in das Liegende der Terrasse, die an die alte Schutthalde angelagert ist. Die letztere wird nicht bloß von Moränen überlagert, sondern auch von solchen unterteuft. Das sieht man am unteren Ochsenboden, in der westlichsten der drei Runsen, die in ihn einschneiden (Fig. 1, IV). Am »unteren« Wege, der vom Raineckwalde zur unteren Kälberalpe führt, findet man feste Breccie, die in der Runse unterhalb des Weges in 1145 m Höhe eine feste tillitartige Grundmoräne mit deutlich gekritzten und seltenen zentralalpinen Geschieben überlagert. Wir verfolgen letztere im Graben bis 1100 m Höhe herab; in gleicher Höhe stellen sich wenig weiter abwärts die höchstgelegenen Schotter der Isarterrasse ein, deren Verhältnis zur tillitartigen Moräne nicht zu erkennen ist.

Weitere Vorkommen alter Breccie finden sich östlich der eben besprochenen im Quellgebiete des Kälberalpbaches ziemlich hoch unter den Wänden des Wörner und der Tiefkarspitze. Sie sind weniger zusammenhängend als die Viererspitzenbreccie. Es handelt sich um eine Reihe einzelner, voneinander getrennter Stücke. Das oberste liegt vor dem Wörner auf dem Wörnergrat (1990 m) (Fig. 1, I); es bricht hier nach Osten in etwa 10 m Mächtigkeit gegen

das Wörnerkar bei westlichem Schichtfallen jäh ab und zieht sich lediglich auf der Westseite des Wörnergrates zum Quellgebiete des Kälberalpbaches bis 1850 m Höhe herab. Es fehlt diesem Breccienstück die nährende Wand. Tiefer liegt hier über den »Wasserfällen« ein dünner, vielfach zerrissener Breccienschleier in 1590 m bis 1680 m Höhe, der, in nordwestlicher Richtung fallend, vor dem Fuße der Wände des Wörner gelegen, von diesen durch einen Felsenriegel getrennt ist. Ein drittes Vorkommnis krönt den Riedel zwischen dem obersten Kälberalpbache und dem aus dem Mitterkar kommenden Bache (Fig. 1, I. II). Die Hochlandhütte (1630 m) steht auf ihm, es zieht sich herab bis zur oberen Kälberalpe (1553 m) und streicht auf beiden Seiten des Riedels in Wänden aus. Die Oberfläche ist bei der Hochlandhütte ebenso wie oberhalb der Wasserfälle von breiten Karren durchsetzt; die Schichtung ist recht flach. Wir haben es weniger mit einer Halde als mit einer Talzuschüttung zu tun, die eine alte, quer über den heutigen Riedel ziehende Furche erfüllt. Letztere reicht am Anstiege zur Hochlandhütte bis 1500 m herab. Die Dolomitreccie beim trigonometrischen Punkt 1566.4 m liegt bereits auf ihrer nördlichen Begrenzung. An seinem Nordwestabfalle zeigen unweit einer Jagdhütte große Blöcke die Fortsetzung der Breccie in dieser Richtung an. Ein weiteres kleines Vorkommnis liegt östlich der Jagdhütte im obersten Kälberalptale zwischen 1380 m und 1400 m Höhe (Fig. 1, I); es ist das tiefste der ganzen Serie. Ansehnlicher ist das Vorkommnis zwischen 1530 m und 1650 m auf dem Riedel zwischen den zum Dammkar und Mitterkar führenden Tälern. Es lehnt sich als Haldenrest an den Abfall des Predigtstuhls und zieht sich gegen das Mittereck hin (Fig. 1, III). Stellenweise hat es an 50 m Mächtigkeit. In seinen Westwänden dehnt sich eine große Gufel gerade an der Grenze gegen den liegenden Dolomit. Sie liegt abseits vom Ochsenbodenweg zur Hochlandhütte. Trümmer von ähnlicher Breccie wurden in etwa 1570 m auf dem Abfalle des Felsriegels gefunden, der das Dammkar nach unten begrenzt. Endlich sitzt ein Stückchen Breccie in 1480 m Höhe, dort, wo der Ochsenbodenweg in das zum Dammkare führende Tal einbiegt. Ein von den Karwendelköpfen nach Norden ziehender Dolomitrücken trennt es von der benachbarten Viererspitzebreccie¹.

Wir fassen die aufgezählten Breccienvorkommnisse im oberen Gebiete des Kälberalpbaches als Hochlandbreccie zusammen. Sie besteht vornehmlich aus Trümmern von Wettersteinkalk, welche viel fester verkittet sind als die der Viererspitzebreccie. Solche Karrenoberflächen, wie wir sie bei der Hochlandhütte und über den Wasserfällen haben, wären bei letzterer ausgeschlossen. Zentralalpines Material wurde in beiden Breccien nicht gefunden, aber in der Liegendmoräne der Viererspitzebreccie am unteren Ochsenboden. Gleich letzterer ruht die Hochlandbreccie auf Moränen. Das sieht man deutlich, wenn man von der oberen Kälberalpe unter den Ostwänden des Riedels zur Hochlandhütte geht (Fig. 1, II). Man kommt hier zunächst auf eine betonartig aussehende Ablagerung, die sich durch die Führung zahlreicher gekritzter Geschiebe

¹ Abseits von all den geschilderten Vorkommnissen liegt ein Breccienausbiß weiter im Osten im Bereiche des Fermersbaches, 500 m östlich von der Schlaghütte am Wege zum Wechselboden in 1310 m Höhe. Er bezeugt, daß auch am Fuße der Schlichtspitze Breccienbildung erfolgt ist.

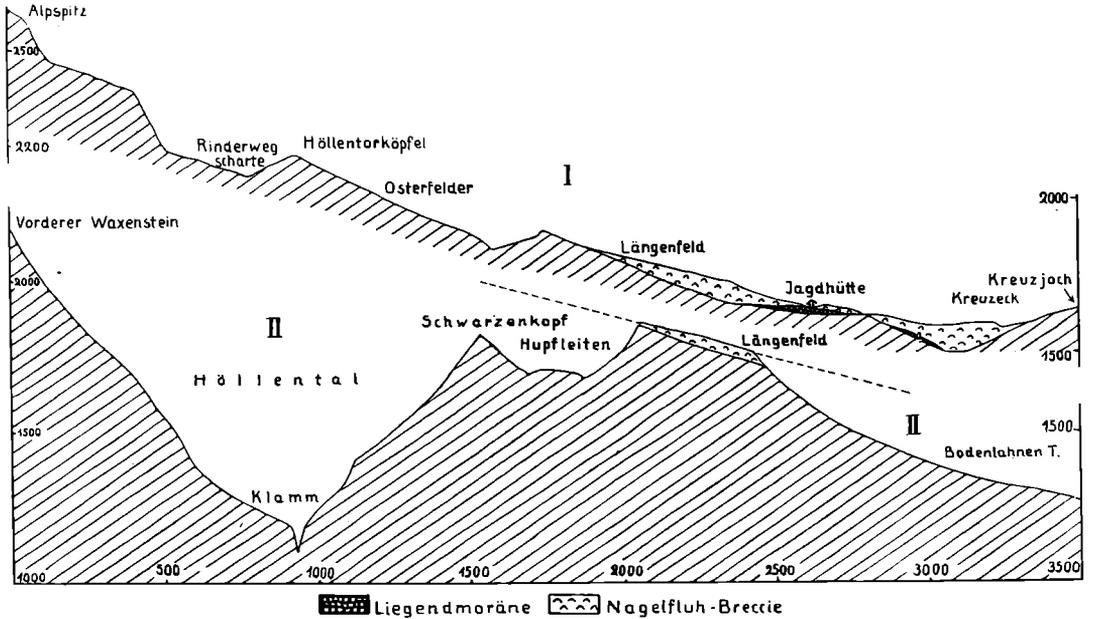
— zentralalpine wurden nicht gefunden — als ein echter Tillit erweist. Unmittelbar darüber steht die, wie schon erwähnt, flach gelagerte Breccie an. In ganz ähnlicher Weise findet sich am Ostfuße des Breccienriedels zwischen Predigtstuhl und Mittereck (Fig. 1, III) Tillit. Die unmittelbare Auflagerung der daneben sich erhebenden Breccie ist indes nicht erschlossen. Eine Hangendmoräne ist lediglich über der Breccie am Ochsenbodenwege beim Einbiegen in das Dammkartal zu beobachten. Darüber, daß auch die anderen Vorkommnisse viel älter sind als die in der Gegend oberflächlich herrschenden Moränen, kann kein Zweifel sein, denn diese liegen unten in den Tälern, zwischen welchen sich die Breccienriedel erheben (Fig. 1, I. II. III). Gleich der Viererspitzbreccie ist also die Hochlandbreccie zwischen zwei Vergletscherungen gebildet. In ihrem Auftreten zeigen beide Breccien jedoch recht erhebliche Verschiedenheiten. Die Viererspitzbreccie ist eine nahezu intakte Schutthalde, stellenweise überkleidet mit Moränen; die Hochlandbreccie zerfällt in einzelne Vorkommnisse, welche im allgemeinen von den Felswänden getrennt sind, die sie gespeist haben. Sie ist zerschnitten durch Täler von über 200 m Tiefe, zwischen denen sie nur noch als Krönung von Riedeln auftritt. Diese Täler sind älter als die letzte Vergletscherung der Gegend, die sich in ihnen breit machte. In ihnen lagern die mächtigen Endmoränen des Gschnitzstadiums. Dagegen sind die Runsen, welche in die Viererspitzbreccie einschneiden, allesamt postglazial.

Die Viererspitzbreccie senkt sich bis tief ins Isartal hinab, die Hochlandbreccie hört im Gebiete des Kälberalpbaches in einer Höhe auf, wo jene in einem benachbarten Winkel des Isartales einsetzt. Wenn von ihr gesagt wurde (23, S. 250), daß sie bis unter die Terrassen des Isartales hinabreiche, so geschah dies zu einer Zeit, als beide benachbarten Breccien noch als eine einheitliche Bildung aufgefaßt wurden. Die Viererspitzbreccie ist eine reine Gehängebildung, verkitteter Gehängeschutt, der sich bis zu den lakustren Ablagerungen des Isartales hinab verfolgen läßt. Die Hochlandbreccie verschüttet, wie insbesondere Fig. 1, II erkennen läßt, einzelne Talverästelungen, die 50—100 m tief zwischen die sie trennenden Riedel eingeschnitten sind. Diese alten Riedel laufen stellenweise quer über die heutigen, wie wiederum Fig. 1, II zeigt.

In ihrem Auftreten kann die Viererspitzbreccie mit der Arnspitzbreccie im Leutaschtale verglichen werden. Dagegen hat die Hochlandbreccie große Ähnlichkeit mit zwei Breccienvorkommnissen, die wir im Wettersteingebirge an entsprechenden Stellen, nämlich am Fuße der Wände von Wettersteinkalk, entweder im Bereiche des Hauptdolomites oder in dem der Raibler Schichten, in 1500—1900 m Höhe finden. Das eine befindet sich am Schachen (Fig. 3, I. II). Es wird von REIS (12, S. 78) erwähnt und kartiert. Es liegt ganz ähnlich wie das der Hochlandhütte auf einem schmalen Riedel, nämlich dem gratartigen First des Teufelsgsaß (1942 m), der sich zwischen der breiten Felsennische der Schachenalp und dem 900 m tieferen Reintal erstreckt. Die Breccie zieht sich mit Unterbrechungen herab bis zum Königshause (1866 m). Hier verschüttet sie eine alte, 30 m tiefe, nach Westen gerichtete Schlucht. Sie besteht aus verfestigtem Gehängeschutt und ist der unbe-

deutende Überrest einer Schutthalde, die sich an den Nordabfall des Wettersteingebirges lehnte. Lediglich Material des Hintergehanges ist in ihr vorhanden; zentralalpines wurde nicht gefunden. Ihre Lage zwischen dem Rande des Reintaltroges und der Nische der Schachenalm, die gleichfalls einen eigenen Gletscher geborgen hat, macht zweifellos, daß sie vor der letzten Vergletscherung nicht bloß abgelagert, sondern auch tief zerschnitten war. Nach unten wird sie durch 600 m hohe Felswände begrenzt, die zum Schachenwalde abfallen. Wie weit sie sich hier erstreckt hat, läßt sich nicht ermitteln.

Fig. 2.



Die Längenfeld-Kreuzeck-Breccie 1 : 25000.

- I. Profil in nordöstlicher Richtung längs der Firstlinie Alpspitz-Kreuzjoch.
- II. Profil in östlicher Richtung vom Vorderen Waxenstein über das Höllental und Längenfeld zum Bodenlahnentale.

Das großartigste Breccienvorkommnis des Wettersteingebirges liegt am Längenfeld und Kreuzeck südlich von Garmisch (Fig. 2). Bereits GÜMBEL hat es als Hochgebirgsschotter verzeichnet und abgebildet (2, S. 802, Profil 89, Tafel XII). Er hebt hervor, daß es stellenweise Rauchwacken- und Nagelfluh-ähnlich sei. REIS beschreibt es und stellt im Verein mit PFAFF (12) seine Verbreitung genau dar. Es dehnt sich auf dem Gebiete der Wasserscheide zwischen dem Hammerbache und dem Bodenlahnenbache und nimmt in der Firstlinie Alpspitze-Kreuzjoch eine muldenförmige Einsenkung ein (Fig. 2, I). Hier bildet sich die Hochfläche des Längenfeldes. In mehr als 1800 m Höhe lehnt sich die Breccie an dessen höchste, gerade an 1900 m Höhe heranreichende, aus Raibler Kalken bestehende Erhebung und zieht sich, durch eine ziemlich ebene Fläche etwas terrassiert, ostwärts bis zu dem weiten Sammelkessel des Bodenlahnenbaches. Hier bricht sie in steilen 60—70 m hohen Felswänden

jäh ab. REIS (12, S. 78) gibt davon eine Abbildung. Ein Ausläufer dieses Vorkommnisses zieht sich von der Jagdhütte nordöstlich auf dem schmalen Wasserteiler zwischen dem zum Hammerbache fließenden Stegerbache gegen das Kreuzeck. Es fällt zwischen diesem und dem Kreuzjoche südwärts gegen den Sammelkessel des Bodenlahnenbaches mit steilen Wänden ab. Nach Norden, gegen die Talweitung von Garmisch-Partenkirchen hin, ist ein Ausbiß nicht bekannt.

Am Längenfeld senkt sich die Basis der Breccie in nordöstlicher Richtung von etwa 1850 m auf 1640 m hinab und liegt daher am Nordosteck des Vorkommens am tiefsten. Zugleich steigert sich ihre Mächtigkeit; dort, wo sie im Westen gegen die Hupfleite abbricht, ist sie kaum 20 m dick, während sie an ihrem Ostabbruche gegen das Bodenlahnental 60—70 m hohe Wände bildet. LEVY (21, S. 79) möchte letztere mit der Übertiefung des Reintales in Verbindung bringen, aber dieselbe endet oberhalb der Mündung der Bodenlahne und kann deren rückwärtige Erosion nicht beeinflussen. Die Beschaffenheit der Breccie ist eine recht wechselnde. In ihren unteren Partien ist sie vielfach, auch in ihren höchsten westlichen Partien ziemlich feinstückig. Ihre Bestandteile sind hier vielfach gerundet. Echte Gerölle rechtfertigen die von GÜMBEL gebrauchte Bezeichnung Hochgebirgsschotter. An solchen feinstückigen Stellen ist die Schichtung deutlich. Sie ist gewöhnlich geneigt, bei häufigem Wechsel des Fallwinkels. Nach oben zu nehmen die Blöcke überhand. Es entwickelt sich eine sehr grobe, nur undeutlich geschichtete Breccie. Sowohl in dieser groben wie auch in der feineren liegenden Breccie kommen dann und wann gekritzte Geschiebe vor. Das Material ist fast ausschließlich kalkalpin. Bruchstücke und Gerölle von Wettersteinkalk walten unbedingt vor. Selten nur finden sich Fragmente zentralalpiner Gesteine, meist von Gneis. Manchmal sind sie stark angewittert, doch gibt es auch frische. Gelegentlich trifft man ferner gerundete Blöcke eines feinstückigen Kalkkonglomerates, einer echten löcherigen Nagelfluh. An den westlichsten und südlichsten Ausbissen ruht die Breccie unmittelbar auf Raibler Kalken. An ihrem Nordosteck aber, dort wo ein kleiner Quell an ihrer Sohle auftritt, erscheint unter ihr in 1640 m Höhe Moräne, die man bis zum Firste nordöstlich der Jagdhütte verfolgen kann.

Nordöstlich vom Längenfeld dehnt sich ein zweites großes Breccienvorkommnis. Es lehnt sich an die Südostseite des Kreuzecks und, nach den von REIS und PFAFF kartierten Grenzen zu urteilen, senkt sich seine Sohle nach Südosten. Die Basis der Kreuzeckbreccie streicht also senkrecht zu der der Längenfeldbreccie. Ein schmaler, stellenweise unterbrochener Breccienfirst streicht zu letzterer hinüber. Sein Südwestende sitzt auf Moräne, die sich bis auf 1640 m Höhe erhebt. Wenig weiter gegen Norden aber, dort wo der Fußsteig ins Bodenlahnental herabsteigt, hebt sich das Grundgestein auf fast 1620 m Höhe empor. Von hier aus senkt sich die Brecciensohle in den Wänden südlich vom Kreuzeck ziemlich steil nach Nordosten, nach der Karte von REIS und PFAFF bis 1500 m herab. Ich habe diese nicht leicht zugänglichen Abbrüche nicht durchstiegen. Aus einiger Entfernung sieht man zwischen Breccie und Hauptdolomit Partien, die an Moränenausbisse denken

lassen. Von der tiefsten Stelle steigt die Brecciensohle gegen das Kreuzjoch hin an. Sie senkt sich also hier nach Südwesten, daher der Sohle am Längenfelde entgegen. Die Breccienvorkommnisse vom Längenfeld, Kreuzeck und Kreuzjoch ziehen sich also in einem ähnlichen Talkessel herab, wie ihn heute die Bodenlahne sich am Fuße der Breccienwände ausgeweitet hat.

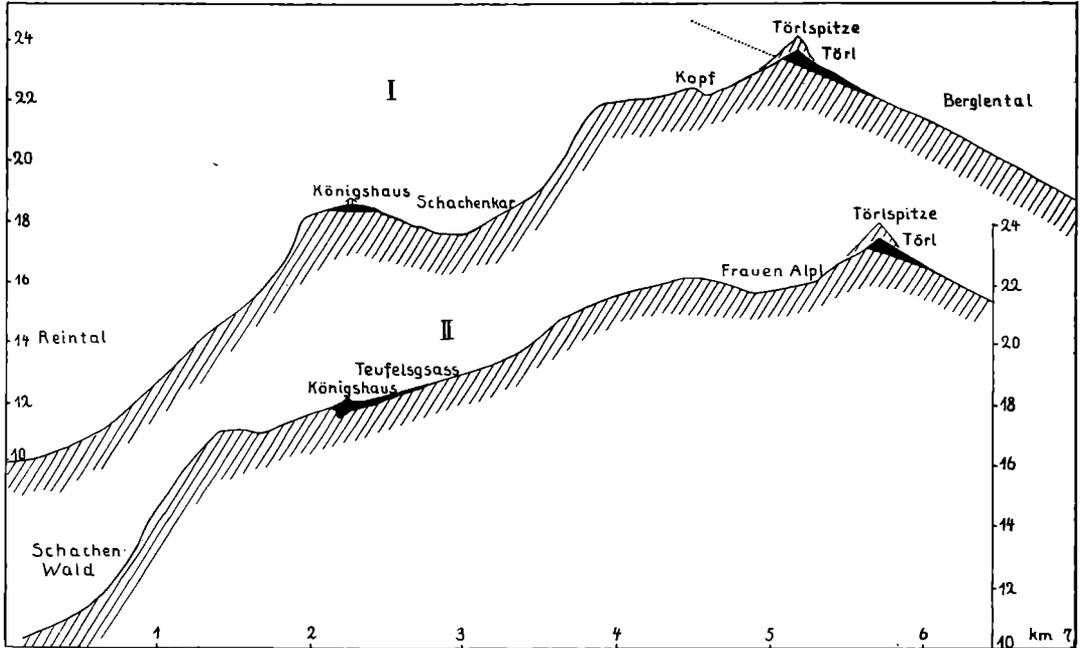
Die an zwei Stellen unter der Breccie erschlossene Moräne macht das Auftreten von gekritzten Geschieben und von erratischem Material in ihr verständlich. Eine unmittelbar auf der Breccie aufliegende Hangendmoräne ist nicht erschlossen. Aber südlich des Längenfeldes finden sich die Endmoränen der Hochalpe in der in sie eingeschnittenen Vertiefung; sie sind unbedingt jünger. Die Längenfeld-Kreuzeck-Breccie lagert also genau so wie die Hochlandbreccie zwischen Moränen.

Die Längenfeldbreccie erinnert durch ihre feste Beschaffenheit an die oberen Partien der Höttinger Breccie. Während aber diese im Höttinger Graben wie eine Schutthalde an ein Talgehänge angelagert ist und sich am Fuße schuttkegelartig ausbreitet, fehlt der Längenfelder das Hintergehänge, das sie gespeist haben könnte. In ihrer ganzen Erstreckung liegt sie auf einer Wasserscheide zwischen sehr tief eingeschnittenen Tälern, wie Profil II in Fig. 2 deutlich zeigt. Die steilen Abbrüche gegen den 400 m tiefen Sammelkessel des Bodenlahnentales machen sicher, daß sie sich in dasselbe weiter herabgezogen hat. Doch finden sich hier keinerlei Reste von ihr. Dagegen machen die sie im Norden und Osten flankierenden Höhen des Kreuzecks und Kreuzjochs wahrscheinlich, daß sie sich nicht in die Talweitung von Garmisch-Partenkirchen herabzog, während ihre Abstürze gegen die Hupfleite hin anzeigen, daß sie sich einst weiter gegen Westen erstreckte. Das nicht seltene gut gerollte Material in der Ablagerung schließt aus, daß sie in der Art einer Schutthalde entstanden ist, für die ein Hintergehänge fehlen würde. Es handelt sich vielmehr um eine Wildbachbildung, um Überreste eines alten Schuttkegels, der von Westen her aufgeschüttet wurde. Als Quelle für diesen Wildbach kann nur das Höllental in Betracht kommen, das westlich vom Längenfelde beinahe 800 m tief unter dessen First eingeschnitten ist. Denken wir uns dessen Hochfläche westwärts mit gleichem Anstiege fortgesetzt (Fig. 2, II), so kommen wir auf 2150 m gerade über dem oberen Eingang der Höllentalklamm, also 1050 m über dem Bach. Die Fortsetzung des Anstieges (260‰) führt über den Gipfel des Waxensteins hinweg und weiterhin über den Gipfel der 8 km entfernten Zugspitz. Große Veränderungen in der Gestaltung des Gebirges müssen sich seit der Ablagerung der Längenfeldbreccie vollzogen haben, und zwar nicht bloß durch das fortgesetzte Einschneiden der Täler, sondern auch in bezug auf die Höhenlage einzelner Teile zueinander.

Gleiches lehrt das Breccienvorkommnis im Törl auf dem Kamme des Wettersteingebirges. Es erfüllt bei der Meilerhütte 2376 m eine alte Schlucht, die den First des Gebirges in westöstlicher Richtung quert (Fig. 3). 230 m weit kann sie verfolgt werden, oben mit einer Breite von 20 m, unten von kaum 10 m. Die Wandungen dieser Schlucht sind glattgewaschen wie die einer Klamm. An sie stoßen unten horizontale Bänke einer gut geschichteten Nagelfluh an, die man nördlich der Hütte bis auf 2335 m, südlich von ihr

bis auf 2270 m herab verfolgen kann. Hier findet sie sich auch neben der alten Klamm in einem engen Felsspalt, in dem sie ein gangartiges Vorkommen vortäuscht. Über der Nagelfluh, mit ihr sich verzahnend, lagert südfallende grobe Breccie mit zum Teil sehr großen Blöcken. Das Material von Breccie und Nagelfluh besteht aus Gesteinen der nächsten Nachbarschaft, nämlich Wettersteinkalk und Raibler Sandstein, wie solcher lediglich nördlich des Törl vorkommt. Die Wasserbewegung ging also von Westen nach Osten, entsprechend dem Gefälle der verschütteten Schlucht. Zentralalpine Gesteine wurden

Fig. 3.



Die Törl- und Schachenbreccie 1 : 25000.

- I. Profil vom Törl in nordwestlicher Richtung durch das Schachenkar über das Königshaus ins Reintal.
 II. Profil auf dem Grat vom Törl über die Schachenplatte, das Teufelsgsaß und Königshaus zum Schachenwald.
 (Breccien schwarz; Grundgestein schraffiert.)

nicht gefunden. Manche Gerölle sind stark angeätzt, einige ausgelaugt. Glazial bearbeitetes Material fehlt. Die westöstliche Wasserbewegung steht mit den heutigen Reliefverhältnissen nicht im Einklang. Denn westlich des Törl liegen die Raibler Schichten tiefer als die Nagelfluh. Auch fehlt hier die Höhe, welche das Material der groben Breccie geliefert haben könnte. Seit Ablagerung von Nagelfluh und Breccie sind sehr bedeutende Veränderungen in Gestalt und Höhenverhältnissen des Gebirges geschehen. Ein Bach, welcher den Wettersteinkamm durchsägen und mit seinen Geröllen verschütten konnte, ist bei den heutigen Verhältnissen undenkbar. Rinnendes Wasser mangelt allgemein auf den Höhen des Wettersteingebirges. Die gute Rundung der herbeigeführten Gerölle weist zudem auf einen weiten Transport. Man muß sich also denken, daß westlich vom Wettersteinkamm einst höhere Partien aufragten, welche

das Bachgebiet begrenzen und die Trümmer für die Breccie lieferten. Stellt man sich aber derartige Höhen vor, und versucht man sich irgendwie das Flußgebiet eines alten Törlbaches zu umgrenzen, so muß man dafür den Nordabfall des Fraunalpl in Anspruch nehmen, also den Raum, auf welchem die nur 1400 m entfernte Schachenbreccie liegt. Diese erachten wir daher für jünger als die Nagelfluh und Breccie am Törl. Das wird aus Profil I in Fig. 3 ohne weiteres ersichtlich.

Es ergeben sich also Gründe dafür, daß unsere Breccien nicht allesamt, wie bisher angenommen, gleich alt sind: Die Viererspitzebreccie ist jünger als die Hochlandbreccie, die Schachenbreccie jünger als die Törlbreccie. Die Längenfeldnagelfluhbreccie ist nicht die älteste ihrer Art, denn sie führt Gerölle einer älteren Nagelfluh. Drei von diesen Vorkommnissen tragen übereinstimmende Züge hinsichtlich ihres Auftretens. Die Hochland-, Schachen- und Längenfeldbreccie liegen am Fuße des Hochalpenzuges, an die Wände von Wettersteinkalk gelehnt, oder dicht vor denselben, dort wo sie sich über die vorgelagerten Hochflächen von Dolomit und Raibler Schichten erheben. Diese Hochflächen erscheinen wie Überreste einer riesigen Talweitung, die sich im Längstalzuge der Isar und Loisach zwischen dem Hochalpen- und Voralpenzug erstreckt und in ersteren sich einbuchtet. In diese Einbuchtungen, nicht aber in die heutigen Täler, ziehen sich die Hochland- und Längenfeldbreccie herab, und gemein ist ihnen, daß sie hier als Talverschüttungen erscheinen, als Ablagerungen von Wildbächen, die sich an Stellen finden, wo solche heute nicht mehr entstehen können. Die Hochlandbreccie zeigt den Übergang solcher Wildbachaufschüttungen zu echten Gehängebreccien, die Schachenbreccie ist größtenteils eine solche. Die gemeinschaftlichen Züge ihres Auftretens weisen auf gleiches Alter. Sie bilden einen mittleren Breccienhorizont; älter ist der höhere der Törlbreccie, jünger der tiefere der Viererspitzebreccie.

Den älteren Horizont können wir nicht in Beziehung zu Ablagerungen des Eiszeitalters bringen. Die Törlbreccie enthält weder zentralalpines noch glazial bearbeitetes Material. Ihre hohe Lage macht sicher, daß sie zu einer Zeit entstanden ist, als die Konfiguration des Gebirges eine wesentlich andere war als heute; auch weicht die Beschaffenheit der mit ihr verbundenen Nagelfluh von den Nagelfluhen des Eiszeitalters durch das Auftreten leichter Eindrücke der Gerölle etwas ab. Wir bezeichnen sie daher einstweilen als präglazial. Die beiden jüngeren Breccienhorizonte sind interglazial. Zentralalpine Geschiebe in der Längenfeldbreccie erweisen, daß vor ihrer Ablagerung Inntaler Eis bereits bis ins Loisachgebiet gelangte; bis beinahe 2000 m ansteigend, lehrt die Hochlandbreccie, daß zur Zeit ihrer Ablagerung das Eis bis in die Grenzen des späten Daunstadiums zurückgegangen war. Kristalline Gesteine in den Liegend- und Hangendmoränen der Viererspitzebreccie verraten das Eindringen zentralalpines Eises in die Kalkalpen vor und nach ihrer Ablagerung; ihre Ausdehnung bis in das Gebiet der Gschnitzmoränen hinein bezeugt weitgehende Eisfreiheit des Gebietes zur Zeit ihrer Entstehung. Das verschiedene Verhalten der beiden in Betracht kommenden Breccienhorizonte zu den Tälern schließt nun aus, daß sie gleich alt sind: Auf Wasserscheiden gelegen sind die Vorkommnisse des mittleren Horizontes älter als die heutigen

Talverzweigungen; der tiefere Horizont reicht tief bis ins Isartal herab und tritt hier in Verknüpfung mit anderen interglazialen Ablagerungen. Er ist zwar älter als die interglaziale Schotterterrasse, deren Geröll ihm auflagert, aber Breccienmaterial verknüpft sich auf das innigste mit den unter den Schottern liegenden Seetonen. Das sieht man deutlich am Fuße der Schotterterrasse des Raineckwaldes. Da streicht nördlich der Viehweide am Rain Seeton aus, der sich durch nasse Stellen verrät. Dort aber, wo er nördlich des Landhauses des Professors Schreyögg bloßgelegt ist, sind ihm Breccienpartien eingeschaltet, die wir nur als Fortsetzung der 800 m weiter östlich anstehenden Viererspitzbreccie ansehen können. Gleiches gilt von dem weiter nördlich gelegenen Hirtenbichl (931.7 m). Auch hier ist mit den Seetonen brecciöses Material vergesellschaftet. Man darf streng genommen nicht, wie 1922 geschehen, von Deltaschottern reden (22, S. 187). Gleiches gilt von den Deltabildungen oberhalb der Mündung des Seinsbaches an der Straße nach Wallgau und an der Isar. Daß sich bei Wallgau mit den lakustren Tönen Breccien verknüpfen, ist bereits hervorgehoben (22, S. 189). Wir haben also eine Breccienformation aus der Zeit des interglazialen Sees im Isartale. Die interglaziale Viererspitzbreccie gehört dazu. Der Boden aber jenes Sees lag unter der Sohle des heutigen Isartales. Dieses ist in seiner heutigen Tiefe älter als er, älter als die Viererspitzbreccie, welche wir gleich den Seetonen in die Riß-Würm-Interglazialzeit stellen.

Die Seetone sind die älteste Ablagerung der Riß-Würm-Interglazialzeit unseres Gebietes. Sie schließen sich unmittelbar an die Rißmoränen an. Für den zweiten Breccienhorizont bleibt daher kein Raum mit in jener Zeit, und wenn er älter als der der Viererspitz ist, so muß er in eine ältere Interglazialzeit gehören. Als solche kommt für die Hochland-, die Schachen- und die Längenfeld-Kreuzeckbreccie in erster Linie die Mindel-Riß-Interglazialzeit in Betracht. Wir halten die letztgenannten Vorkommnisse daher für gleich alt mit der Höttinger Breccie, deren Zugehörigkeit zu der Mindel-Riß-Interglazialzeit wir eingehend begründet haben (18). Die Höttinger Breccie zieht sich allerdings viel weiter ins Tal herab, als es unsere Vorkommnisse tun; sie erstreckt sich bis in das Bereich der alten Inntalerrasse, und erst auf derselben vollzieht sich der Übergang der Schutthalde in einen Schuttkegel. Diesem allerdings fehlt das gerollte Material, das in der Längenfeld-Kreuzeckbreccie eine so hervorragende Rolle spielt, und wenn er in seinen tiefsten Partien sich bis 70 m über dem Inn herabzieht, so ist im Auge zu behalten, daß in der nächsten Nachbarschaft, nur 4.5 km weit talabwärts, das Bohrloch von Rum¹ eine außergewöhnlich tiefe jugendliche Einsenkung des Inntales verrät. Möglicherweise hat sie die untere Partie der Höttinger Breccie mit ergriffen. Die Tatsache, daß manche Bänke im Mayerschen Steinbruche leicht bergwärts fallen, macht eine tektonische Einbiegung gerade hier nicht unwahrscheinlich. Wenig weiter abwärts bricht bei der Rumer Alp die Breccie hoch über dem Inn ab, ähnlich wie die Längenfeld-Kreuzeckbreccie über der Bodenlahne.

¹ Vgl. O. AMPFERER, Über die Bohrungen von Rum und bei Häring in Tirol und über quartäre Verbiegungen der Alpentäler. Jahrb. d. geolog. Staatsanstalt, Wien LXXI, 1921, S. 71.

Zeigt die Höttinger Breccie gerade bei Hötting in ihrem morphologischen Auftreten an einer Stelle Ähnlichkeit mit der Viererspitzbreccie, so ergeben sich in geologischer Hinsicht große Verschiedenheiten. Während sich die Viererspitzbreccie mit den lakustren Tonen des Isartales verzahnt, bildet die Höttinger Breccie an ihrer tiefsten Stelle den Sockel der entsprechenden Formation des Inntales und wird von derselben überdies durch den Höttinger Schutt getrennt, der die Riß-Würm-interglazialen Ablagerungen des Inntales einleitet. Ihn vergleichen wir mit der Viererspitzbreccie. Es überlagert im Inntale die lakustre Formation eine auf dem Lande vonstatten gegangene Wildbachbildung; im Isartale erscheint sie gleichzeitig mit einer mächtigen Gehängeschuttbildung. Sollte sich die Ansicht von AMPFERER bestätigen, daß die Dawaldbreccie (8, S. 184, 192. 11, S. 739) zum Delta des Vomperloches gehört, dann hätten wir auch im Inntale Breccien aus der Zeit des großen Riß-Würm-Interglazials.

In unserem Gebiet hat die Alpspitzbreccie in der Unter-Leutasch so viel Ähnlichkeit mit der Viererspitzbreccie, daß wir sie unbedenklich mit derselben parallelisieren. Mit Vorbehalt tun wir gleiches mit der Breccie und dem Delta an den Öfen bei der Ober-Leutasch. Auch die Nagelfluh der Wanne bei Eschenlohe (23, S. 222) gehört zu den tief in das Tal herabreichenden Nagelfluhbreccien. Dagegen schließt sich die interglaziale Breccie der Hochalpe im Karwendeltale durch den Mangel eines Hintergehänges mehr dem mittleren Breccienhorizonte der Mindel-Riß-Interglazialzeit an. Ob der von FELS (19) unter dem Gipfel der Moserkarspitze im Karwendelgebirge gefundene Breccienrest dem letzteren Horizonte beizuzählen ist, oder ob er dem der Törlbreccie entspricht, vermögen wir nicht zu sagen.

Die drei von uns unterschiedenen Breccienhorizonte verraten uns eine fortschreitende Umgestaltung des Gebirges. Sie ist minimal seit Ablagerung der jüngsten, der Riß-Würm-interglazialen Breccien, recht ansehnlich seit der Bildung der Mindel-Riß-interglazialen. Der Hochlandbreccie am Wörnergrate ist das Hintergehänge genommen. Statt seiner erstreckt sich das Wörnerkar. Die gesamte Ablagerung ist durch tief eingeschnittene Täler in einzelne Vorkommnisse zerlegt worden, die sich auf Riedel zwischen Tälern beschränken. Die Schachenbreccie kann sich ursprünglich nicht auf den schmalen Grat des Teufelgsaß beschränkt haben. Sie muß sich dort weiter erstreckt haben, wo heute die Nische der Schachenalm liegt. Bereits REIS hat darauf hingewiesen (12, S. 77), daß die Längenfeld-Kreuzeck-Breccie einen weit größeren Raum für ihre Bildung benötige als sie heute einnimmt: der tiefe Einschnitt des Höllentales trennt sie vom Ursprungsorte ihres Materiales. Alle drei Breccien beschränken sich auf eine bestimmte Höhenzone. Sie haben sich gewiß einst weiter talwärts erstreckt. Aber jede Spur fehlt hier von ihnen. Tief müssen sich die Täler eingeschnitten haben, in die sie ausliefen. Daß endlich sehr bedeutende Veränderungen sich im Antlitz der Alpen vollzogen haben, seitdem ein Gebirgsbach quer über den Wettersteinkamm beim Törl hinweggeflossen ist, bedarf keiner weiteren Erörterung. Es fragt sich nun, ob alle diese Veränderungen in einer bestimmten Reihe verlaufen, nämlich

Glieder einer normalen Abtragungsgeschichte sind, oder ob sie außerdem die Annahme tektonischer Veränderungen erheischen.

Die Hochland- und die Schachenbreccie sagen in dieser Hinsicht nichts Bestimmtes aus. Ihre Zerschneidung kann verursacht sein durch eine Talbildung, die sich infolge einer früheren Hebung langsam in das Gebirge hineinfräß oder die rasch der letzteren folgte. Dagegen gibt die Längenfeldbreccie eine bedeutsame Auskunft. Sie führt erratische Geschiebe, die bis zu einer Höhe von 1675 m vorkommen, während solche in den Hangendmoränen der Gegend, die am Nordabfalle des Kreuzecks im Stegerwalde weit größere Verbreitung haben als die Karte von REIS und PFAFF angibt, bloß bis 1440 m gefunden wurden. Daraus folgt, daß vor der Breccienbildung das zentralalpine Eis näher an den Nordabfall des Wettersteingebirges herantreten konnte als während der letzten Vergletscherung, daß es das kalkalpine Eis mehr zur Seite drängen konnte als später. Es war also relativ stärker. Das mußte der Fall sein, wenn die Kalkalpenglischer schwächer waren als später, wenn also die Kalkalpen damals weniger hoch waren. Wir schließen deswegen auf eine seit der Ablagerung der Breccie erfolgte Hebung des Wettersteingebirges. Diese Folgerung gilt auch für den immerhin möglichen Fall, daß die Gneisgeschiebe bei den Trögeln nicht der Würmvergletscherung, sondern einer älteren angehören. Dann würde sich ergeben, daß während der Würmvergletscherung das zentralalpine Eis noch weniger hoch an den Vorlagen des Wettersteingebirges heraufgereicht hätte, daß es noch mehr gehindert gewesen wäre, sich hier auszudehnen als vor Ablagerung der Breccie; die Verschiedenheit zwischen der Würmvergletscherung und jener, welche der Bildung der Längenfeldbreccie vorausging, würde noch größer sein, als wir annehmen.

Auch das Kalkgeröll am Törl weist auf eine jugendliche Hebung des Wettersteingebirges. Hier gibt es heute in mehr als 1700 m Höhe nur einen beständig fließenden Bach, nämlich den Abfluß des Höllentalferners. Sonst sickert alles Wasser wegen der sehr tiefen Lage des Karstwasserspiegels in die Tiefe. Ein Bach, der eine 100 m tiefe Klamm im Kalke auswaschen konnte, setzt entweder einen im Westen befindlichen, höher gelegenen Gletscher oder eine seichte Lage des Grundwasserspiegels voraus. Für einen solchen Gletscher ist heute kein Raum; er verlangt an Stelle des heutigen Frauenalpl eine hohe Aufragung, von der keine Spur mehr vorhanden ist. Entweder ist sie gänzlich abgetragen worden oder in die Tiefe gesunken. Es ist aber auch denkbar, daß sich der heutige Wettersteinkamm gegenüber dem Frauenalpl gehoben hat. Ein Anhaltspunkt spricht für die eine oder andere tektonische Bewegung: mächtige Schutthalden umsäumen den Abfall des Wettersteingebirges gegen das Frauenalpl hin. Sie verraten, daß hier, wo die Karte von REIS und PFAFF eine Störungslinie verzeichnet, eine Unstetigkeit des Oberflächengefalles noch nicht ausgeglichen, also kürzlich entstanden ist. Wollen wir nicht zur Annahme eines alten Gletschers greifen, der von einem höheren Frauenalpl sich gegen die Meilerhütte hin erstreckte, so müssen wir annehmen, daß im ganzen Gebiete der Karstwasserspiegel viel seichter lag, daß das ganze Gebirge weniger hoch lag. Darauf weist

eine Tatsache. Westlich vom Mitterkreuz der westlichen Karwendelspitze liegt eine große, mehr als 50 m tiefe Doline mit 2231 m Bodenhöhe. Sie zeigt eine alte Karsthochfläche im Karwendelgebirge gerade dort an, wo es sich gegen das Mittenwalder Tor hin senkt. Diese Karsthochfläche ist bis auf diesen einen Rest durch die Entwicklung der Hänge des Karwendelgebirges aufgezehrt worden. Die Hangentwicklung setzt aber eine Hebung voraus. Daß sich ein Rest der alten Karsthochfläche gerade dicht beim Mittenwalder Tore erhalten hat, erweckt den Eindruck, daß dieses an einer Stelle geringster Hebung des Gebirges eingeschnitten ist, während das Wettersteingebirge im Westen und das Karwendelgebirge im Osten Gebiete stärkerer Hebung anzeigen. Aber wenn man auch im Sinne dieser Erklärung den Wettersteinkamm als relativ stark gehoben betrachtet, muß man auch zur Annahme greifen, daß er stärker gehoben war als seine unmittelbare Vorlage, das Frauenalpl, denn von diesem kam der Bach, der in die sich hebende Kette einschnitt. So drängt sich auch bei diesem Erklärungsversuche die Frage auf, ob die über ihrer nördlichen, reich gegliederten Vorlage des Frauenalpl mit dem Schachenkopf, des Hirschbühl, des Kämi- und Zirbenkopfes sich jäh und prall erhebende Wettersteinwand auf einen jugendlichen Bruch zurückzuführen sei, längs dessen sich die Scholle des Wettersteinkammes emporgehoben habe, vielleicht noch gegenüber einem Widerlager von nunmehr abgetragenen Raibler Schichten. Alle die mit der Meiler-Nagelfluh und -Breccie in Verbindung stehenden Probleme fänden durch eine solche Annahme eine befriedigende Lösung.

Gibt es also Hinweise darauf, daß sich das Wettersteingebirge während der Zeit unserer Breccienbildungen ganz entschieden gehoben hat, so fehlt es im Norden nicht an Anzeichen einer starken Senkung. Die Anzapfung des Höllentales durch den Hammerbach setzt eine solche in der Talweitung von Garmisch-Partenkirchen voraus. Diese erscheint in den Alpen als ein recht fremdartiges Gebilde. Sie hat eine Talsohle von außergewöhnlicher Breite, die man durchaus nicht auf die Ausräumung widerstandsunfähiger Gesteine zurückführen kann, denn solche sind in der Gegend in bescheidenem Umfange vorhanden. Wo sie ausgeräumt sind, sind nur schmale Furchen zwischen schmalen Rippen und keine breite Weitung entstanden. Das sieht man deutlich in der Längstalfurche zwischen Partenkirchen, wo Rippen von Raibler Kalken mit Furchen von Raibler Sandstein wechseln. Zusammen bilden beide eine Talung, deren Boden zwischen 900 und 1000 m wechselt und recht jäh gegen Partenkirchen abfällt. Die dortige Talweitung liegt 200 m tiefer. Sie steigt westwärts sanft gegen Grainau bis auf 750 m an. Zwischen der Schmölz und Garmisch wird sie von der Loisach durchflossen. Weiter westwärts zieht sie aber nicht mehr an letzterer aufwärts, sondern neben deren ziemlich engem Tale gegen den Eibsee hin. Der mächtige Trümmerhaufen eines von der Riffelspitz abgegangenen Bergsturzes trennt diesen von ihr ab. Unverkennbar liegt er in ihrer Fortsetzung. Erst an seinem Westufer findet sie ihr Ende. Da erheben sich jäh 500 m über dem Spiegel des Sees die Wände von Hauptdolomit unter den Törle. 200 m steigen an ihnen Schutthalden empor. Die Zerstörung der Wände dauert also fort. In nicht allzu

ferner Zeit werden sie ihr zum Opfer gefallen sein. Daß sie noch vorhanden sind, zeugt von ihrer Jugendlichkeit. Die üblichen wandbildenden Faktoren kommen bei ihrer Entstehung nicht in Frage. Es fließt an ihrem Fuße kein lebhaft einschneidender Fluß entlang, sondern hier liegt der stille Eibsee, dessen Brandung nicht einmal ihren Schutt zu beseitigen vermag. Kein Gletscher ist an ihnen entlang geflossen, der sie unterschritten haben könnte; senkrecht verlaufen sie zur Richtung des Eisstromes, der über die Törlen kam. Ich weiß nur eine Entstehungsmöglichkeit für die Wände unter den Törlen am Eibsee: daß sie durch einen ziemlich jungen Bruch gebildet worden sind, an dem das Westende der Garmisch-Partenkirchener Talweitung in die Tiefe sank. In dieser Auffassung begegne ich mich mit REIS (12, S. 107), welcher diese auffälligen Steilabstürze am Eibsee für tektonisch bedingt hält, falls damit die Wände unter den Törlen gemeint sind. Es ist denkbar, daß gleichzeitig mit diesem Einbruche der Bergsturz von der Riffelspitz, der das obere Ende des Einbruchfeldes abgliederte, und ein weiterer Bergsturz, der nach Ehrwald lief (16), abgingen.

Die geologischen Verhältnisse stehen mit einer solchen Annahme im Einklang. An einer Stelle ragt am Fuße der Wände unter den Törlen am Südwesteck des Eibsees festes Gestein auf, nämlich Jura, überlagert von Neokom. Höher folgen am Weiter Bach Kössener Schichten. Alle diese Schichtglieder sind jünger als der Hauptdolomit der Törlen. Man kann sich sehr wohl vorstellen, daß sie an ihm abgesunken sind. Allerdings wäre auch denkbar, daß der Dolomit über sie in ähnlicher Weise hinweggeschoben sei, wie der Wettersteinkalk des Schneefernerkopfes und der Wetterspitzen über den Jura und das Neokom bei Ehrwald. Allein eine direkte Überlagerung ist nirgends zu erkennen. Auf der Karte von REIS und PFAFF, deren Verlässlichkeit ich gerade hier feststellen konnte, ist die horizontale Entfernung vom Fuße der Dolomitwand bis zum obersten Ausbiß der Kössener Schichten 100 m bei einem Vertikalabstand von 60 m, bis zum Neokom sind es fast 200 m in der Horizontalen und 100 m in der Vertikalen. Da ist Platz genug für eine Verwerfung oder starkes Abbiegen der Schichten, aber keine Möglichkeit, eine Überschiebung zu beweisen.

Gleich den Wänden unter den Törlen bildet die von ihnen begrenzte über 1500 m hohe Hochfläche auf den Törlen einen sehr bemerkenswerten Zug in der Oberflächengestaltung des Loisachgebietes. Sie zeigt nur leichte Wellungen; flache Rundhöcker, im Bereiche des Plattenkalkes durch grobe Karren zerfressen, wechseln mit flachen Wannern, in denen sich Wiesen dehnen, und die auf unterirdische Entwässerung angewiesen sind. Da und dort zeigen sich dolinenartige Vertiefungen, manchmal auch Schlundlöcher. Wir haben hier auf 4 qkm eine Landschaft, wie wir sie sonst nur auf den Hochflächen weiter im Osten der Kalkalpen, auf dem Steinernen Meer und auf dem Dachsteinplateau antreffen. Ein Karstgelände ist vom eiszeitlichen Eise überschritten und umgestaltet worden. Nicht häufig findet man erratische, aus den Zentralalpen stammende Geschiebe, während im Winkel zwischen den Törlwänden und dem Abfalle der Zugspitze von dieser ein Gletscher herabkam, wie N 20° O gerichtete Gletscherschliffe bei der verfallenen Seetalpe leh-

ren. Diese Moränen erstrecken sich bis nahezu zum Eibsee herab, erweisend, daß dessen Südufer schon zur letzten Eiszeit eingetieft war. Weiter folgen östlich die Bergsturzmassen des Eibseebergsturzes, westlich die des Ehrwalder Bergsturzes (16). Moränen ohne zentralalpines Material liegen auch auf dem Südfalle des Törlplateaus. Die Wände gegen den Eibsee sind frei von glazialen Wirkungen und glazialen Ablagerungen; sie sind postglazialer Entstehung. Während nun aber die ähnlich gestalteten Hochflächen der weiter östlich gelegenen Kalkalpen hoch über das umgebende Gebirge aufragen, ist die Hochfläche der Törlen in dasselbe eingesenkt. Fremdartig liegen sie am Fuße der Zugspitz (2964 m). Im Westen werden sie überragt durch die 800 m höhere Upspitz. Im Norden haben wir Gipfel von 1900 bis 2000 m.

Eigenartig ist auch die Art und Weise, wie die Loisach um das Plateau herumfließt. Unterhalb des Lermoser Beckens tritt sie in die sanft nach Norden ansteigende Fläche des Pontiefensteiges, die sich vor dem Plateau der Törlen streckt. Auf der anderen westlichen Talseite kommt ihr vom Abfalle des Daniel der Häselgörgraben entgegen. Es sieht aus, als ob hier ein felsiger Riegel quer vor das Lermoser Becken gelegen habe, den die Loisach in ziemlich engem Tale durchmißt. Dann tritt sie in breiterem Tale an den Westabfall der Törlen, der sich plump und ungegliedert 700 m über ihr erhebt. Bei Griesen biegt sie rechtwinklig um, obwohl sie ein niederer Paß zur Ammer herüberleiten könnte, der nicht gerade hoch über die Terrassenfläche des Arlesberges an der Umbiegungsstelle ansteigt. Parallel zum stumpfen Ende, das die Garmisch-Partenkirchener Talweitung bis zum Eibsee streckt, fließt sie nach Osten, vom Eibseegebiet durch den Miesing-Berg getrennt. Dieser beginnt massig als Hoher Seeberg (1351 m) gegenüber dem Nordende des Törlplateaus, von dem er nach den Untersuchungen von REIS und PFAFF (12) durch eine Verwerfung getrennt ist. Einen sich gabelnden Sporn streckt er an das Nordufer des Eibsees, einen längeren längs der Loisach. Das ist der lange, schmale Rücken des Gschwandwaldes, der sich nicht höher über die Loisach erhebt als die Abdachung am Pontiefensteige, aber sich talabwärts senkt. Kaum 800 m hoch endet er bei der Schmölz. Auffällig ist seine Schmalheit. Sie kommt im Landschaftsbilde nicht voll zur Geltung, weil der Trümmerhaufen des Lerchwaldes vom Eibseebergsturz sich unmittelbar an ihn anlehnt. Auch ist er von dessen Trümmern weithin bedeckt. Denkt man sich all dieses Trümmerwerk entfernt, so stellt sich heraus, daß die Loisach sozusagen zwischen ihrem linken Talgehänge und einer rechts von ihr befindlichen felsigen Talterrasse die Weitung von Garmisch-Partenkirchen betritt, aber vom Miesing-Berge an des rechten Talgehänges entbehrt. Nie und nimmer hätte sich in solcher Situation ihr Lauf entwickeln können. Er mußte in die westliche Fortsetzung der Talweitung herabgleiten, falls diese bei seiner Anlage vorhanden gewesen ist. Noch als er bis zu niederen Felsterrassen eingeschnitten war, mußte ein rechtes Talgehänge vorhanden gewesen sein. Dieses ist seither verschwunden. So erhalten wir denn im Norden der Eibseegegend wie an ihrem Westsaume Hinweise auf starke Einsenkungen in junger geologischer Vergangenheit. Im Verein mit der anziehenden Wirkung, die die Talweitung von Garmisch-Partenkirchen auf den Bach

des Höllentales ausgeübt hat, führen sie uns zu der Annahme, daß jene Talweitung ein ziemlich junges Senkungsfeld ist.

In dieses Senkungsfeld münden der von Süden kommende Hammerbach und die Partnach in viel bewunderten Klammen. Auf den ersten Blick könnte es scheinen, als ob hier die an Stufenmündungen üblichen Klammen vorlägen. Allein beide Klammen weichen von solchen ab. Man steigt in das Höllental und in das Partnachtal nicht außen am Gehänge der Talweitung empor wie an den Stufenmündungen, sondern geht in ihre Mündungen hinein, um dann durch einen Anstieg die Klamm zu vermeiden, die erst in einiger Entfernung von der Talweitung endet. Weder das Höllental noch das Partnachtal haben oberhalb ihrer Klammen einen so wohl entwickelten Talboden wie z. B. das Leutaschtal bei Mittenwald, in den der Bach beim Klamm-anfange einschneidet, während sich der Talboden neben ihm als Terrasse fortsetzt. Höllentalbach und Partnach treten vielmehr von oben ebenso durch Felsentore in ihre Klammen hinein, wie sie unten in solchen aus ihnen herauskommen. Ihre Klammen tragen den Charakter von Talengen, wie z. B. die Salzachöfen, die sich an einen Ort starker Hebung anknüpfen. Trifft letzteres zu, so zeigen sie eine Aufsattelung in der Richtung Waxenstein-Wamberg, also parallel zum Senkungsfelde von Garmisch-Partenkirchen an. Als eine weitere Erhebungswelle tritt nach dem früher Auseinandergesetzten uns der Hauptzug des Wettersteingebirges entgegen. So ergeben sich denn nicht wenige Anhaltspunkte für junge Krustenbewegungen im Wettersteingebirge und seinen nördlichen Vorlagen, von Krustenbewegungen, die sich teilweise wenigstens, wie die Längenfeldbreccie lehrt, während des Eiszeitalters abgespielt haben.
