

Überreicht vom Verfasser.

SITZUNGSBERICHTE 1922.
XIX. XX.
DER PREUSSISCHEN
AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN

Sitzung der physikalisch-mathematischen Klasse vom 15. Juni.

Mitteilung vom 16. Dezember 1920.

Gesamtsitzung vom 22. Juni.

Mitteilung vom 10. November 1921.

Die Terrassen des Isartales in den Alpen.

**Ablagerungen und Schichtstörungen der letzten
Interglazialzeit in den nördlichen Alpen.**

VON ALBRECHT PENCK.



SEINEM LIEBEN FREUNDE
EDUARD BRÜCKNER
ZUR VOLLENDUNG DES SECHZIGSTEN LEBENSJAHRES
AM 29. JULI 1922
IN ERINNERUNG AN GEMEINSCHAFTLICHE
EISZEITFORSCHUNG GEWIDMET





Die Terrassen des Isartales in den Alpen.

VON ALBRECHT PENCK.

Die Erforschung der großartigen Terrasse des Inntales hat im Laufe der Jahre zu verschiedenen Auffassungen der mächtigen, sie zusammensetzenden Schotter geführt. Auf Grund ihrer stellenweise entgegretenden Verknüpfung mit Moränen sind sie zunächst als fluvioglazial gedeutet worden, entstanden beim Herannahen einer Vergletscherung¹ und später als solche, die unter dem Stau, den die von den Zentralalpen in das Inntal vordringenden Gletscher ausübten, abgelagert wurden². Dann hat AMPFERER³ Gründe vorgebracht, sie als interglaziale Bildungen aufzufassen, deren Aufschüttung ganz ohne Beziehung zu den Gletschern steht und auch nicht aus klimatischen Ursachen bedingt ist. Die letzten Untersuchungen haben dahin geführt, in den Sedimenten der Terrasse teils interglaziale, fluviolakustrer Entstehung, teils frühglaziale, fluvioglazialer Entstehung zu unterscheiden⁴. Eine scharfe Trennung beider war nicht durchführbar; das konnte auch nicht anders erwartet werden; denn die Anschwemmungen im Inntale werden dasselbe Aussehen haben, ob sie nun fern vom Eise oder ziemlich nahe von demselben entstanden sind. Es werden eben immer Schotter oder Sande oder Tone sein, aus deren Beschaffenheit keine sicheren Schlüsse auf die Entstehungszeit gezogen werden können.

Will man solches tun, so muß man Gebiete aufsuchen, deren Vergletscherung nicht den Flußläufen folgte, sondern von außen her über Pässe kam, so daß alles von ihr herbeigebrachtete Material sich ohne weiteres als erratisches zu erkennen gibt, mag es nun in Moränen oder fluvioglazialen Schichten auftreten. Ein solches Gebiet ist das der Isar. Wohl haben sich hier, namentlich im Wetterstein- und Karwendelgebirge während der Eiszeit eigene Gletscher entwickelt, aber diese waren doch nur mächtige Zuflüsse des großen Eisstromes, der vom Inntale über den Seefelder Paß eindrang und den größten Teil des Isartales eher erreichte als die von jenen Gebirgen herabkommenden Gletscher. Alle Ablagerungen, die mit der großen Vergletscherung zusammenhängen, kennzeichnen sich durch das reichliche Vorhandensein kri-

¹ A. PENCK, Die Vergletscherung der Deutschen Alpen. Leipzig 1882. Kap. XIV.

² A. PENCK und E. BRÜCKNER, Die Alpen im Eiszeitalter. Leipzig Kap. III. VII. Nach dem Jahre des Erscheinens der Lieferungen (1902) zitiert.

³ Über die Entstehung der Inntalerrassen: a) Zeitschr. f. Gletscherkunde III. 1908. S. 52; b) Verhandl. k. k. geolog. Reichsanstalt 1908 S. 87.

⁴ A. PENCK, Die Höttinger Breccie. Abhandl. d. preuß. Akademie d. Wissensch. 1920. Phys.-math. Klasse Nr. 2. Berlin 1921.

stalliner Geschiebe und Gerölle aus den Zentralalpen; alle Ablagerungen, die vor deren Eintritt vorhanden waren, können solche nur dann enthalten, wenn der letzten Vergletscherung frühere vorangegangen sind; sie werden also arm oder frei von ihnen sein. Aus diesen Gesichtspunkten ergab sich bereits 1885 die Möglichkeit, interglaziale Schotter im Isargebiete nachzuweisen¹.

Seine Terrassen entbehren aber noch bis heute einer eingehenden Untersuchung. Der ausgedehnten Vorkommnisse der Gegend von Mittenwald und Tölz gedachte ich allerdings schon 1882 und berichtete damals auch über die Terrasse von Wallgau, auf die ich 1885 zurückkam. Die geologische Spezialaufnahme des Wettersteingebirges durch das Oberbergamt München hat zwar auch Quartärgebilde der Umgegend von Mittenwald kartiert, aber die in Aussicht² gestellte Monographie derselben ist nicht erschienen. Kurz nur gedenkt AMPFERER der dortigen Schotter. Dagegen haben die von Tölz durch DAMASUS AIGNER³ eine eingehendere Darstellung erfahren, deren Unrichtigkeit ich dargetan habe⁴. Später hat ROTHPLETZ⁵ sich mit ihnen beschäftigt. Die Gesamtheit der im Isartale vorkommenden Schotterterrassen hat kürzlich FRIEDRICH LEVY⁶ beschrieben; aber die mit ihnen verknüpften talgeschichtlichen Probleme sind von ihm nicht behandelt worden.

Meine Untersuchungen sind in den Sommern 1917—1921 ausgeführt worden. Während derselben habe ich das Isargebiet zwischen dem Seefelder Passe und der Gegend von Fall abgegangen. Von Lenggries abwärts habe ich sie schon früher kennengelernt; die maßgebenden Stellen bei Wolfratshausen aber auch 1918, 1919⁷ und 1921 aufgesucht. Die Beobachtungen wurden namentlich im Bereiche der bayerischen Positionsblätter 1:25000 Dreithor-spitz (889), Scharnitz (890), Mittenwald (880), Walchensee (865), Riß (866) und Dürrnberg (867) vorgenommen; diese haben durch ihre Höhenzahlen bei der genaueren Festlegung der einzelnen, bisher vielfach nicht bekannten Vorkommnisse gedient. Doch kann deren Lage auch aus den prächtigen Blättern Mittenwald O und Scharfreiter des topographischen Atlas von Bayern 1:50000 (97 u. 98) hinreichend genau entnommen werden. Für das zwischen Lenggries und Wolfratshausen gelegene Gebiet genügen die Blätter Tölz W (91) und Wolfratshausen W (83) des genannten Atlas.

Ich beschreibe zunächst die einzelnen Örtlichkeiten.

¹ A. PENCK, Über interglaziale Breccien der Alpen. Verhandl. k. k. geolog. Reichsanstalt 1885, S. 363.

² Vergl. OTTO REIS, Erläuterungen zur Geologischen Karte des Wettersteingebirges. I. Geognostische Jahreshefte. München XXX. 1910. S. 61 (79).

³ Das Tölzer Diluvium. Mitteilungen Geogr. Gesellsch. München. V. 1910. S. 1 (Landeskundliche Forschungen, herausgegeben v. d. Geogr. Gesellsch. München. Nr. 7).

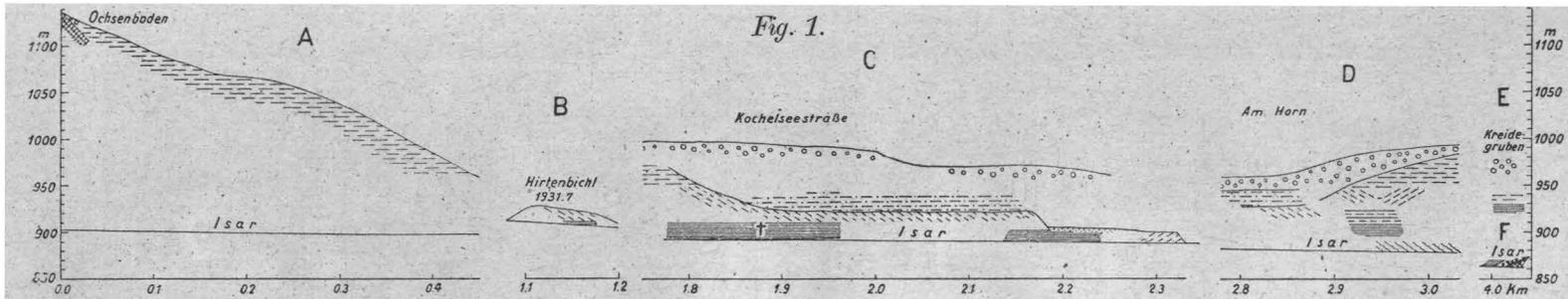
⁴ Die Glazialbildungen zwischen Tölz und Holzkirchen. Zeitschr. f. Gletscherkunde VII. 1912/13. S. 74.

⁵ Die Osterseen und der Isarvorlandgletscher. Mitteilungen Geogr. Gesellsch. München. XII. 1917. S. 99 (167) (Landeskundliche Forschungen, herausgegeben v. d. Geogr. Gesellsch. München. Nr. 24).

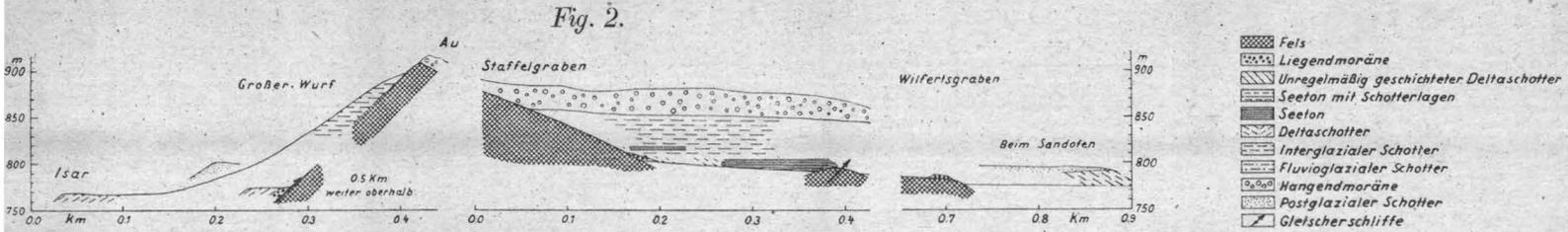
⁶ Diluviale Talgeschichte des Werdenfeler Landes und seiner Nachbargebiete. Berlin 1920 (Ostalpine Formenstudien I 1).

⁷ Zu welch schweren Schäden führt eine übertriebene Betonung der Geologie in der Geographie? Zeitschr. d. Deutsch. Geolog. Gesellsch. LXXII. 1920. Monatsberichte S. 123 (129).

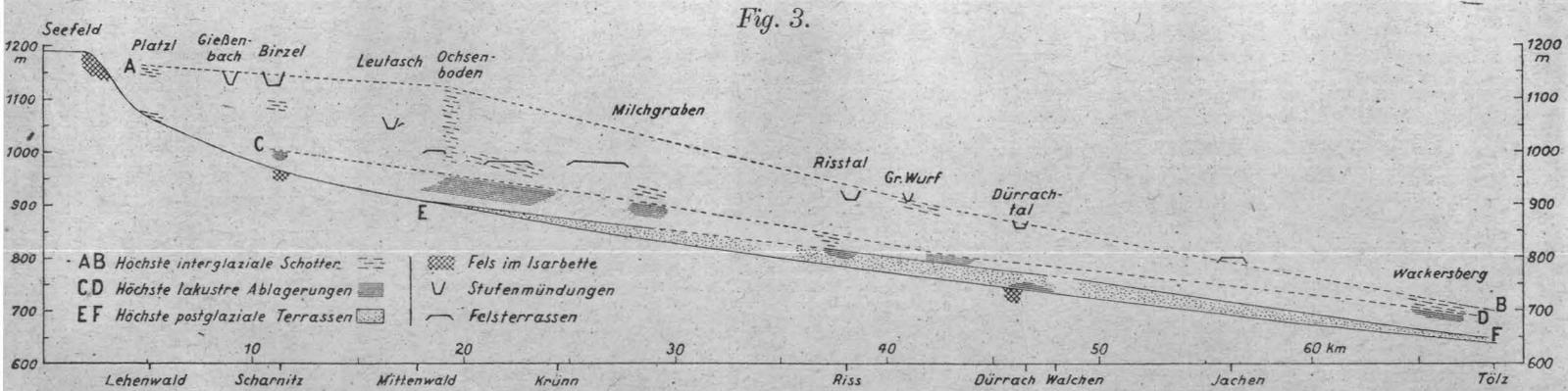
Unterhalb Mittenwald weitet sich das Isartal zum wiesenbedeckten Becken der Mittenwalder Mähder, das mit Ablagerungen des Eiszeitalters erfüllt ist. Oberflächlich herrschen Moränen, welche breite langgedehnte Drumlin-ähnliche Rücken bilden. Darunter streichen an der Isar grobe, ganz vornehmlich aus Kalkgeröllen bestehende Schotter aus, stellenweise zu ziemlich fester Nagelfluh verkittet. Solche kommt in entsprechender Höhe auch auf den Mähdern im Brunntale an der Westflanke des Rückens P. 993 m zum Ausstrich. Die Formung der Hochfläche ist daher nicht bloß glazialer Akkumulation in den Rücken, sondern auch der Erosion in den dazwischen gelegenen Furchen zu danken. Nicht häufig sind in den Schottern Gerölle zentralalpiner Gesteine, aber sie fehlen nirgends. Die tiefe Sackschlucht an der Isar gegenüber dem Horn gibt einen ausgezeichneten Einblick in diese Ablagerung (Profilreihe 1 D rechts). Diskordant schneidet die hangende Moräne die Schotter ab; die Grenze zieht sich von 975 m auf 950 m herab und steigt nördlich der Runse auf 990 m an. Die oberen Lagen des Schotters sind bis auf 950 m herab horizontal geschichtet, tiefer stellt sich unregelmäßig schräge Schichtung ein; zwischen 915 und 925 m wechseln geschichteter Sand und Ton mit ebenso geschichteten Kieslagen. Weiter unten an der Isar (885 m) findet sich eine stellenweise schräge, stellenweise unregelmäßig geschichtete, bald kiesige, bald sandigtonige Ablagerung, welche manchmal moränenähnlich aussieht, aber nirgends gekritzte Geschiebe enthält. Sie steht an der Isar bis zu den beiden Straßenbrücken des Horns hin an. Ich deute sie als ein gerutschtes, in seiner Lagerung gestörtes Delta. Typische Deltas liegen rechts der Isar an der Mündung des Seinsbaches sowie an demselben. Bei der Ochsenhütte war hier 1919 ein deutliches Ineindergreifen von Deltaschottern und Seetonen zu sehen. Weiter aufwärts durchbricht er ein prächtiges, bis 910 m ansteigendes, nordwärts fallendes Delta, dort, wo er aus der Klamm, die er in die Felsterrasse der Aschauer Alm eingeschnitten hat, austritt. Abwärts von der Sackschlucht sind am linken Isartalgebirge früher Seetone als »Kreide« bis in 930 m hinauf gewonnen worden; (Profilreihe 1 E); ebensolche Tone, deutlich geschichtet, finden sich gerade gegenüber den Kreidegruben am rechten Isarufer, dicht am Flusse. Man sieht hier folgendes Profil (Profilreihe 1 F): Ein kleiner Buckel von Hauptdolomit ragt wenig hoch über den Fluß auf; südwärts legt sich auf ihn eine Moräne, unter der er glatt abgeschliffen ist und nordwärts gerichtete Schrammen trägt; die Moräne ist ein fester Tillit von 1.5 m Mächtigkeit. Darüber folgen südwärts fallende Seetone, bedeckt vom groben Gerölle der niederen Isarterrasse. 50 m weiter südwärts sind die Seetone abermals entblößt, hier wechellagern sie mit Delta-geröll und fallen nordwärts. Östlich von diesen Aufschlüssen an der Isar steht im Walde bis 900 m Höhe deltaartig geschichtete Nagelfluh an. Eine sehr ausgedehnte Entblößung von gut horizontal geschichteten Seetonen liegt 1 km weiter nordwärts, gleichfalls rechts der Isar oberhalb Krünn, südlich vom Hüttle-Graben. Wir haben also unterhalb Mittenwald eine mehr als 100 m mächtige Formation von Schottern und Bändertonen, gelagert zwischen zwei Moränen von sehr verschiedenem Aussehen und verschiedenem Grad der Verkittung. Der obere Teil dieser Formation hat die Schichtung einer fluvialen Bildung; der untere ist nach Gesteinszusammensetzung und Schichtung



Profilleihe 1. Vom Ochsenboden bei Mittenwald bis zu den Kreidegruben bei Krünn 1 : 8000.



Profilleihe 2. Vom großen Wurf über den Staffelgraben zum Wilfertsgraben östlich Vorderriß 1 : 8000.



Aufriß des Isartales von Seefeld bis Tölz 1 : 350000.

lakustren Ursprungs. Er reicht in der Sackschlucht am Horn bis 950 m Meereshöhe.

Die lakustren Bildungen setzen sich oberhalb der Sackschlucht am linken Isarufer bis zur Husselmühle bei Mittenwald fort. Sie sind an der Kochelseestraße vielfach aufgeschlossen (Profilreihe 1 C). Zuunterst finden sich Seetone, die eine Zeitlang an der Straße (unweit der Abzweigung des Weges nach P. 984 m) als »Kreide« ausgebeutet wurden. Auf den Schichtflächen dieser Kreide wurden Kriechspuren wahrgenommen, in sandigen Partien Pflanzenreste. Eingestreut sind in einzelnen Lagen Gerölle mit matt glänzender, aber nicht geschrammter Oberfläche. Dicht daneben erschließt eine Kiesgrube an der Straße lose verkitteten Deltaschotter südwärts fallend, vornehmlich aus Gesteinen des Seinsbaches bestehend. Weiter oberhalb (beim Kreuz an der Straße) stehen abermals Seetone an, die nach oben zu sandig werden und von verfestigten Deltaschottern mit gut geroltem Isargerölle überlagert werden. Diese im allgemeinen nördlich fallenden Schotter verzahnen sich mit Sanden; an den einzelnen Entblößungen hat man prächtige Gelegenheit, das Auskeilen von Schichten zu studieren. Als Hangendes dieser lakustren Ablagerungen tritt fluviatiler Schotter auf, der sich im Gegensatz zu den bisher betrachteten durch ziemlich reichliche Führung von zentralalpinen Geröllen auszeichnet. In der Kreidegrube gehört er einer bis 905 m ansteigenden Isarterrasse an, die in die Flucht der weiter abwärts folgenden postglazialen fällt; er birgt hier nicht selten Gerölle von Nagelfluh, ähnlich der der Deltaschotter, sowie große Brocken des liegenden Tones. Beim Kreuzifix hingegen gehört er in das Liegende der höher gelegenen Moräne; er setzt sich scharf in 930 m Höhe gegen die ihn unterlagernden Deltaschotter ab. Die östlichste der großen Entblößungen, die sich von der Sackschlucht an der Isar aufwärts ziehen (Profilreihe 1 D links), zeigt gleichfalls grobes, an zentralalpinen Gesteinen reiches Gerölle, das in 935 m Höhe diskordant gegen die liegenden, fast nur aus Kalken bestehenden kleinstückigen Deltaschotter abschneidet. Es wird von derselben Moräne bedeckt wie die benachbarten horizontal geschichteten, an Urgebirgsgeröllen sehr armen Schotter der Sackschlucht, die von den liegenden Deltaschottern nur wenig scharf sich abheben. Ähnliche Kalkschotter finden sich unweit der Reigelmühle über Deltaschottern, die sich auf 950 m erheben. Wir haben es also im Liegenden der Moränen über den Deltaschottern nördlich Mittenwald mit zwei verschiedenen Schottern zu tun: der eine, an zentralalpinen Geröllen arme, bis 950 m herabreichende schließt sich unmittelbar an die Deltaschotter an, der andere, bis 930 m herabgehende schneidet diskordant in das Delta ein und muß deshalb als wesentlich jünger als letzteres und auch als der an zentralalpinen Geröllen arme Schotter angesehen werden.

Die südliche Fortsetzung der eben geschilderten Ablagerungen am rechten Isarufer hat sich bisher der Beobachtung entzogen. Der Raineckwald gegenüber Mittenwald erstreckt sich über einer deutlichen moränenbedeckten Terrasse, an deren Nordwestabfall Kalknagelfluh mehrfach in Wänden zutage tritt. Am Fuße der Terrasse treten an der Isar in 910–920 m Höhe (NW Viehweide am Rain) Seetone zutage; Quellen am Gehänge darüber zeigen an, daß sie

bis 950 m reichen. Seetone treten ferner im Hügel des Hirtenbichl (P. 931.7 m, Profilreihe 1 B) auf, der sich zwischen unserer Terrasse und den Ablagerungen an der Kochelseestraße isoliert im Isartale erhebt. Sie vergesellschaften sich auch hier mit Deltaschottern und enthalten Kriechspuren. Während nun aber im Raineckwalde die Schotter sich in Terrassenform bis 1050 m erheben, steigen sie weiter nordöstlich in den Runsen des Ochsenbodens (Profilreihe 1 A) bis 1120 m an und reichen in ununterbrochenen Aufschlüssen bis 980 m und im nördlichen Nachbargraben noch tiefer herab; sie haben also eine Mächtigkeit von mehr als 140 m. Manche Partien bestehen aus grobem Schutte, den der Gassellahnbach herbeigeführt haben dürfte. Aber gerade die höchste Partie wird aus typischem Isargerölle zusammengesetzt mit kleinen roten Jurageröllen und seltenen zentralalpinen. Es ist ziemlich gut verfestigt, und Sprenglöcher verraten, daß es steinbruchmäßig gewonnen worden ist. Es wird gleichfalls von Moräne bedeckt; die darunterliegenden Schotter stoßen an einen steilen Abfall von Hauptdolomit an. Nach Süden läßt sich unser Terrassenschotter bis zur Erzgrube verfolgen, wo ein Ausläufer von ihm auf einer älteren Breccie aufrucht. Seetone finden sich auch in Mittenwald am Fuße des Kalvarienberges (Pecherweg Nr. 319) in 920 m Höhe. Nur auf kurze Strecken nicht sichtbar, reichen sie mitsamt den mit ihnen verbundenen Deltaschottern von hier bis an den Hüttlegraben bei Krünn. Ein alter See dehnte sich also mindestens 6.5 km weit im Isartale. Sein Spiegel lag in der Sackschlucht 950 m hoch und sein Boden mindestens 65 m tiefer, unter dem heutigen Isarbette (885 m). Der See wurde zugeschüttet, und über ihm wurden enorme Schottermassen angehäuft, die sich am Ochsenboden bis 220 m über die heutige Isar erheben.

Oberhalb der Enge von Scharnitz treffen wir Terrassenschotter am Westabfalle der Felsstufe des Birzel, die die Isar beim Eintritt in die Weitung von Scharnitz durchschneidet (Fig. 3). Am Ausgange der Schlucht liegt bei Eisack beiderseits des Flusses ein altes Delta; am linken Ufer unweit der Brücke ist seine Nagelfluh ausgebeutet worden. Dieselbe stößt an eine fast senkrechte Felswand an. Lagenweise eingebettete gekritzte Geschiebe erweisen die Ablagerung als eine lakustro-glaziale¹. Am rechten Ufer steigt sie bis 1000 m an und zeigt in dieser Höhe einen alten Seespiegel. Höher, in etwa 1060 m, treffen wir nördlich vom Wege ins Karwendeltal Ausbisse horizontal geschichteter Nagelfluh, die in das Liegende der mächtigen Moränenmassen auf der Höhe des Riegels beim Birzel gehören. Jenseits derselben streichen am Karwendelbache zwischen 1080 und 1090 m Höhe unter den Moränen wieder Schotter aus, denen die mächtigen Felstrümmer eines von den Brunnsteinwänden abgegangenen Bergsturzes eingebettet sind. Darunter findet sich an einer Stelle Moräne. Wir haben also auch bei Scharnitz Zeugen einer alten, sehr ansehnlichen, mindestens bis 130 m über den Fluß reichenden Talverschüttung vor Eintritt der letzten Vergletscherung und nach einer früheren.

Wir folgen nunmehr nicht weiter dem Isartale ins Karwendelgebirge, sondern wandern in der breiten Furche des See- (oder Drahn-) Baches gegen

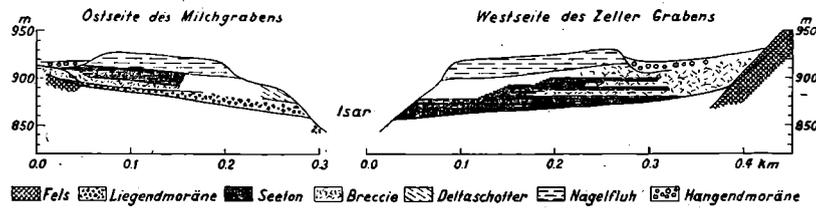
¹ Eine ähnliche lakustro-glaziale Nagelfluh findet sich an der Westseite des Riedbodens oberhalb der Mündung des tiefen Tales.

den Seefelder Paß. Dort, wo der Bach aus einem engeren Einschnitte bei Lehenwald nördlich von Seefeld in die Furche eintritt, stoßen wir an seinen Ufern auf horizontal geschichtete Kalkschotter mit geringfügigem zentralalpinem Material. Sie reichen im Zwiesel zwischen Seebach und Klamm bach unter mächtiger Moränenbedeckung bis 1070 m.

Entsprechende Ablagerungen kehren im Leutaschtale wieder. Horizontal geschichtete, vornehmlich aus Kalk bestehende Schotter finden sich in der Terrasse unweit des Lochlehens, nördlich vom versiegenden Berglenbache in 1100 m Höhe; höher liegen Moränen, in deren Liegendes sie gehören dürften. Auch bei Reindlau scheinen Schotter unter den Moränen der Terrasse aufzutreten, die sich links der Leutasch vom Puitenbache an nordwärts streckt. Ausgedehnter und klarer aufgeschlossen sind die Vorkommnisse in Oberleutasch. Vom Platzl bis Oberweidach durchschneidet die Leutasch eine Moränenablagerung, die sich über 15—20 m horizontal geschichtete Kalkschotter mit wenig zentralalpinem Material breitet. Man sieht dies gegenüber dem Platzl und der Kirche von Oberleutasch. Hier ist auch das Liegende in Gestalt von 2 m Moräne, deren untere Partie verkittet ist, erschlossen. Wir haben also auch in Leutasch ein Schotterlager zwischen Moränen. Auffällig ist der Gegensatz in der Zusammensetzung; die Schotter fast nur aus Kalk, vornehmlich Wettersteinkalk, bestehend, die hangende und liegende Moräne voller zentralalpiner Geschiebe, förmlich gespickt mit grünen Hornblendegesteinen. Am 0.6 km westlich, aber 20 m tiefer gelegenen Weidachsee streichen gleichfalls unter den Moränen, die die Gegend wie ein Mantel überziehen, Kalkschotter mit wenig zentralalpinen Geschieben aus. An der Ostseite vom Südende des Sees sind sie zu fester Nagelfluh verkittet, die als Werkstein gebrochen worden ist. Ihre Oberfläche ist unter den hangenden Moränen glatt abgeschliffen und zeigt nordöstlich streichende Schrammen. Sowohl unter der Nagelfluh wie auch unter den Schottern auf der Westseite des Sees, die mit ihnen durch einen allmählichen Übergang verbunden sind, streicht einige Meter über dem Wasserspiegel (1098 m) Moräne aus. Die zwischen Moränen gelegenen Überreste einer Talzuschüttung der Oberleutasch durch kalkalpine Flüsse erheben sich am Platzl bis über 1160 m, am Weidachsee nur bis wenig über 1100 m. Mit dem weiter westlich bei den Öfen gelegenen, bis 1220 m ansteigenden alten Delta haben sie nichts zu tun; Gerölle von dessen Nagelfluh kommen in unsern Schottern vor, und der durch das Delta in mehr als 1200 m Höhe angezeigte Seespiegel gehört einer früheren Epoche an.

Die mächtigen Terrassenaufschüttungen in der Gegend von Mittenwald hören bei Krünn auf, die Seetone am rechten Isarufer beim Hüttle-Graben, die Schotter am linken beim Hohlwege, der vom Straßwalde zum Hochreut hinaufführt. Nördlich davon zieht sich die Moränendecke der Mähder am Beerenbühl bis auf den Fels herab. 5 km weiter nordöstlich finden wir dann das mehrfach beschriebene Terrassenstück unterhalb Wallgau im Längstale der Isar, links vom Flusse. Es ist auf 1 km Länge zwischen dem Milchgraben und der nach P. 836.9 m herunterziehenden Runse erschlossen. Beiderseits des Zellergrabens (Fig. 4) heben sich hier Nagelfluhwände aus dem Walde

Fig. 4.



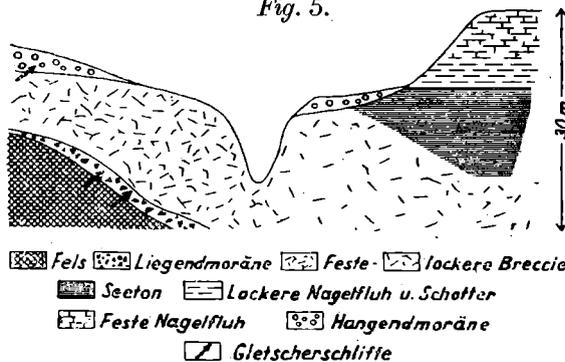
Profile im Terrassenstück unterhalb Wallgau.

hervor. Bis auf 920–930 m Höhe ansteigend, bestehen sie aus gut gerollten Kalken des Isargebietes, dann und wann mit einem zentralalpinen Gerölle. Östlich vom Zellergraben sowie an der Flanke des Milchgrabens lagert auf der Nagelfluh Grundmoräne, reich an Geschieben kristalliner Schiefer; zwischen Zeller und Milchgraben geht hingegen die Nagelfluh auf der Terrassenhöhe nackt zutage, durchsetzt von zahlreichen offenen Klüften. Unter der Nagelfluh streicht am Zellergraben gut geschichteter Seeton aus; er reicht bis zur Grabensohle herab und steigt bis an den Fuß der Nagelfluhwände (900 m) an. Dann und wann sind ihm Lagen eckigen Dolomitschutttes eingeschaltet. Diese nehmen gegen Norden hin rasch an Mächtigkeit zu und ersetzen alsbald den Bänder-ton vollständig. Der Dolomitschutt reicht bis über das Bereich der Nagelfluh heraus und stößt an den Hauptdolomit unmittelbar unter Moränenbedeckung an.

Im Milchgraben (Fig. 4) treffen wir an der Ostflanke unter der Nagelfluh gleichfalls Seeton, der aber bei weitem nicht so gut geschichtet ist wie der am Ausgange des Zellergrabens; er geht nach unten in lose verkitteten Dolomitschutt über. Unter diesem streicht in der ganzen Länge des Grabens bis hinauf zum Wasserfalle (900 m) zähe graue Grundmoräne aus, die wir auch oberhalb der Grabenmündung an der Isar (840 m) in einem 20 m hohen Ausbiß fast 500 m weit gegen Wallgau verfolgen können. Sie ist ziemlich arm an kristallinen Geschieben. Ihr ist an der linken Seite der Grabenmündung in 870 m Höhe schräge geschichteter Sandstein, übergehend in feinstückiges Kalkgerölle, ein echter Deltafuß, aufgesetzt. An der rechten Seite des Milchgrabens hebt sich unter dieser Liegendmoräne der Hauptdolomit hervor, zunächst noch in einiger Entfernung vom Graben, so daß wir ihn erst 50 m

von ihm dort antreffen, wo der Graben den rechten Winkel oberhalb seiner Mündung macht. Aber bald tritt er an den Graben selbst in Form einer glattgeschliffenen Felsfläche heran, an welcher hier und da noch Partien verkitteter Moräne kleben. Am Wasserfalle (Fig. 5 Mitte), 300 m oberhalb der Umbiegung, lagert auf dieser glattgeschliffenen, deutlich nordostwärts geschrammten Felsfläche ein dünnes Lager betonähnlicher Grundmo-

Fig. 5.



Querprofil im Milchgraben bei Wallgau 1:8000.

räne, und über ihr erhebt sich eine Wand von sehr grobkörniger fester Dolomitbreccie. Darüber stürzt der Bach in seinem Falle herab. Aber dicht daneben wird die Breccie lockerer und geht ganz allmählich in den lose verkitteten Dolomitschutt der linken Grabenflanke über. Die Breccie wird von Moräne gekrönt und ist unter ihr deutlich geschliffen, gerade über der Stelle, wo die Moräne unter ihr auf dem geschliffenen Hauptdolomit auflagert. Die geschliffene Breccienfläche kann von oben deutlich gesehen und von geübten Bergsteigern erreicht werden; bequemer kann sie unten an großen herabgestürzten Blöcken der Breccie studiert werden; da sieht man die feinen Schrammen auf den Dolomitbrocken, während die Zementpartien daneben nur roh geglättet und gefurcht sind. Wir haben an derselben Stelle die Schlicke zweier Vergletscherungen übereinander. Auch sonst fand sich unter der Liegendmoräne der Hauptdolomit mehrfach geschrammt, so 1917 im Wasserrisse, der zum ersten Winkel des Milchgrabens herabführt, sowie 700 m weiter südwestlich an der Straße im Isartale östlich vom Stiergraben.

Die Schichtenfolge der Wallgauer Terrasse hat große Ähnlichkeit mit der Mittenwalder Terrasse. Wir haben von oben nach unten 1. Hangendmoräne zum Teil sehr reich an kristallinen Geschieben. Ihr entstammen die zahlreichen großen erratischen Blöcke am Boden der Gräben. Darunter 2. Isargerölle, in seinen oberen Partien zu fester Nagelfluh verkittet. Unter dieser fluviatilen Ablagerung finden sich 3. lakustre Bildungen: Seeton, übergehend in Dolomitschutt, der stellenweise zu fester Breccie¹ verkittet ist und wohl eine Seehalde darstellt, sowie den Fuß eines Deltas der Isar. Die Basis bildet hier wie bei Mittenwald 4. die Liegendmoräne, hier wieder vergleichsweise arm an kristallinen Geschieben, stellenweise betonartig verkittet, aufruhend auf deutlich geschliffenem Fels. Während sich aber bei Mittenwald die lakustren Ablagerungen bis auf 950 m erheben, steigen sie bei Wallgau kaum mehr als auf 900 m an. Zu den lakustren Ablagerungen rechnen wir auch die Nagelfluh, welche an der Isar dicht oberhalb des Stiergrabens, neben der die sich bis in den Milchgraben hineinziehende Liegendmoräne auftritt. Ihr Verhältnis zur letzteren ist allerdings nicht zu erkennen. Ein Steinbruch im Walde östlich P. 865,3, 1920 wieder in Arbeit genommen, legte ihre schräge Schichtung deutlich bloß. Sie besteht aus Kalkgeröllen; kristalline Gesteine sind selten. Von ähnlicher Zusammensetzung ist eine Nagelfluh am Fuße des rechten Isartalgehanges gerade gegenüber der Wallgauer Terrasse (zwischen Lain- und Markgraben unweit des von P. 1009 herabkommenden Wasserrisses).

Unterhalb Wallgau fließt die Isar in einem breiten, wenig gegliederten Längstale, auf dessen Boden sich die Schuttkegel der von links und namentlich von rechts kommenden Wildbäche breitmachen. Grober Schutt reicht im abgestutzten Kegel des Markgrabens bis zur Talsohle herab; meist aber sitzt er auf Isargeröll auf. Letzteres erhebt sich an der Mündung des Staudengrabens bis 20 m über den Fluß und wird hier vom hangenden Kegelschutt

¹ Diese Altersverschiedenheit von Breccie und Nagelfluh habe ich früher nicht bemerkt, ich habe beide als ein und denselben Horizont betrachtet und ihn 1882 als Breccie, 1885 als Nagelfluh beschrieben.

durch eine moorige Lage getrennt. Darunter ist es gebleicht. Wenig weiter unterhalb entwickeln sich diese postglazialen Terrassenschotter zu einem breiten Felde, in das die Isar 20—30 m tief eingeschnitten ist. Das ist die Grammersau, auf welcher das Forsthaus Vorderriß liegt. Die von Süden kommende Riß drängt hier die Isar hart an den Fuß des linken Gehänges und hindert sie, im Tale hin- und herzuschweifen. Sie hat auch grobes Gerölle auf die Höhe der Terrasse gebreitet; aber der Hauptmasse nach besteht diese aus mittelstückigem Isargerölle, das sich durch seine graue Farbe sowie einen gewissen Grad von Verfestigung von dem hangenden, groben, lockeren Schotter der Riß unterscheidet.

Dort, wo die Riß die Isar an den Fuß des Ochsenitzer Berges herandrückt, schneidet diese mächtige Schutthalden an, in denen große Blöcke hellen Hauptdolomites stecken. Wenig weiter oberhalb aber legt ein Graben beim Ochsenitz gelegentlich zu Nagelfluh verkittetes Isargerölle bis 840 m Höhe hinauf bloß, also höher als die gegenüber nur bis 820 m ansteigende postglaziale Terrasse; tiefer finden sich Seetone und Sand, darüber Gehängeschutt. Wegen dieser Zusammensetzung erachten wir die am linken Talgehänge leicht hervortretende Terrasse über dem Ochsenitz als ein Seitenstück zur höheren Terrasse von Wallgau. Sicher ist dies von der Terrasse der Au, 3 km unterhalb Vorderriß (Fig. 2). Sie liegt in einem Winkel des linken Talgehänges oberhalb der Mündung des Wilfertsgrabens. Der »große Wurf« entblößt bis 890 m emporsteigenden Schotter: horizontal geschichtetes buntes Isargerölle mit sehr seltenem kristallinen Material. Die diesem Isargerölle entstammende Schutthalde deckt den Fuß des über 120 m hohen Aufschlusses; sie verschleiert die unter 830 m gelegenen Partien und das Liegende des Schotters. Es wird aber in 100—150 m Entfernung durch eine Prallstelle der Isar erschlossen. Hier streichen Deltaschotter und Sande bis 770 m Höhe aus. Folgt man ihnen flußaufwärts, so trifft man am Fuße der sich hier ziemlich jäh erhebenden Dolomitwand unter ihnen Moräne; und unter dieser ist der Dolomit in ostnordöstlicher Richtung geschrammt.

Hangende Moräne ist am großen Wurf selbst nicht erschlossen. Sie stellt sich jedoch dicht daneben im Walde über Dolomit ein und deckt die Terrassenflächen der Au. An deren Abfall gegen den Staffelgraben hin streicht unter der Moräne zwischen 800 und 850 m Höhe derselbe Schotter aus wie am großen Wurf. Seine unterste Partie ist schräge geschichtet. Darunter beißen Seetone aus, die wenig weiter unterhalb früher als Tüncherkreide gewonnen wurden; etwas weiter oberhalb greifen in sie schräge Schotterpartien, ein Deltafuß, ein; dieser sitzt auf Moräne, die dem Hauptdolomit dort anlagert, wo der Weg vom Wilfertsgraben zur Au emporführt. Gegenüber dem »alten Kreidebruche« hebt sich am linken Ufer des Wilfertsgrabens im Bachbett ein flacher, mit nordöstlich streichenden Schrammen bedeckter Rundhöcker von Hauptdolomit sanft empor unter Verhältnissen, die keinen Zweifel darüber lassen, daß der Gletscherschliff in das Liegende des Seetones gehört. Wenig weiter talab klebt auf dem Dolomit, in den der Bach eine kleine Klamm eingedrehselt hat, fest verkittete tillitähnliche Moräne. Dann bricht der Dolomit gegen das Isartal jäh ab, und es stellt sich beim Sandofen ein

prachtvolles Delta ein, aus südöstlich fallenden Bänken eines mürben Sandsteines bestehend, dem Geröllagen und stellenweise stark gestauchte Tonschichten eingeschaltet sind. Dies Delta ist zwischen 775 und 795 m erschlossen. Es wird von den groben Schottern der postglazialen Terrasse bedeckt; diese ziehen sich am Südfuße der moränenbedeckten Terrasse der Au als eine schmale Leiste bis zum großen Wurf und verhüllen den Ausbiß lakustrer Ablagerungen, den wir zu gewärtigen haben.

Die Schichtenfolge zwischen großem Wurf und Wilfertsgraben ist genau dieselbe wie in den höheren Terrassen von Mittenwald und Wallgau: zwischen hangender und liegender Moräne liegen fluviatile Schotter und lakustre Deltas sowie Seetone. Während aber die ersteren nur um 30 m zur Höhe hinter denen von Wallgau zurückbleiben, erheben sich die lakustren Bildungen 100 m weniger hoch als bei Wallgau, um 150 m weniger als bei Mittenwald. An diesem Ergebnis wird nichts geändert, wenn wir ein Tonlager, das am Wege vom Wilfertsgraben auf die Au den dortigen Schottern in 820 m Höhe eingeschaltet ist, noch zur lakustren Folge rechnen und nicht als eine bloße örtliche Einlagerung in der fluviatilen ansehen. Wie bei Vorderriß bleibt die größte Höhe der lakustren Ablagerungen tief unter der von Wallgau.

Die jüngeren Terrassen des Längstales an der Isar strecken sich von der Grammersau ein Stück weit in das Quertal der Riß hinein, werden aber bald undeutlich. Die älteren höheren Terrassenbildungen fehlen hier, sie stellen sich indes weiter oberhalb im Längstale der Riß zwischen Hinterriß und der Hagelhütte an der Mündung der Eng ein. Zunächst bestehen sie im wesentlichen aus mächtigen Moränen des Rißgletschers, weiter oberhalb aber, etwa von der Mündung des Johannestales an, gibt es darunter auch geschichtete Ablagerungen, Terrassensedimente, meist aus lokalem Tal-schutt, wie Blatt Innsbruck und Achensee der geologischen Spezialkarte der im Reichsrate vertretenen Königreiche und Länder richtig angibt. Es ist mir leider nicht möglich gewesen, diese Ablagerungen näher zu untersuchen. Bei flüchtigem Durchwandern konnte ich feststellen, daß lakustre Bildungen darunter vorkommen. Bei der Garberl-Alm tritt an ihrer Basis Bänderton in 970 - 980 m Höhe auf, in einem großen Aufschluß gegenüber der Mündung des Lalider Tales sah ich aus der Entfernung Deltaschotter in mehr als 1000 m Höhe. Weiter oberhalb an der Hagelhütte reichen dann die hangenden Moränen wieder in großer Mächtigkeit ins Tal herab.

Auf 2 km Entfernung dehnen sich die Aufschlüsse zwischen dem großen Wurf und Wilfertsgraben. Dann verschwindet unsere höhere moränenbedeckte Terrasse an der Isar. Breit machen sich im Längstale abermals die jüngeren Terrassen, an der Mündung der Dürrach genau ebenso wie an der Riß, und die Isar wird bis hart an das linke Talgehänge gedrängt. Hier einschneidend, hat sie bei Fall ihr altes Bett nicht wiedergefunden und durchsägt einen niederen Vorsprung des Falkenberges in enger Schlucht; das ist die epigenetische Isareng von Fall. Dicht unterhalb begegnen wir Seetone in 740 m Höhe bei den Häusern von Fall, überlagert von horizontal geschichteten Schottern. Solche Seetone finden sich ferner im Bette der Dürrach dicht oberhalb ihrer Mündung in die Isar (733 m) und 500 m weiter

oberhalb in ihrem Bette in etwa 745 m Höhe; sie bilden ferner den Sockel der jüngeren Terrasse rechts der Dürrach dicht an der Isar und werden von derselben zwischen Dürrach und Walchenmündung angeschnitten. Es sind überall dieselben fetten weißen Tone, die, vom Wasser überspült, ähnliche Abwaschformen erhalten wie festes Gestein. Ich halte sie für Repräsentanten derselben lakustren Formation, die wir bisher im Isartale unter den Hangendmoränen kennengelernt haben. Diese Seetone beschränken sich in der Gegend von Fall nicht auf das Längstal der Isar, sondern kommen auch unmittelbar unterhalb der Enge des Sülvensteines vor, wo sie 1920 an der Straße bloßgelegt waren. Diese Enge kann also nicht wie LEVY glaubt (S. 44—46), den alten See im Isartale gestaut haben. Sie ist nicht klammartig, sondern eine 150 m breite Öffnung, in der der Verkehr deswegen Schwierigkeiten findet, weil die verwilderte Isar bald das eine, bald das andere Talgehänge angreift und dabei die Straße unterspült. Abwaschformen an ihren Flanken bis etwa 30 m über die Isar bekunden, daß hier in jüngster geologischer Vergangenheit starke Erosion stattgefunden hat, die nicht bloß zur Vertiefung, sondern auch zur Verbreiterung der Enge beigetragen hat, wobei die postglaziale Terrasse entfernt worden ist. Letztere setzt unterhalb sofort mit fast derselben Höhe (755 m) wieder ein, mit der sie oberhalb aufgehört hat (760 m). Nach LEVY reicht sie nur noch 2 km weit bis zum Bacherleger, wo sie mit Deltaschichtung abbrechen soll. Aber wenig weiter unterhalb verzeichnet das Positionsblatt Hohenburg an der Jachenmündung noch ein deutliches Terrassenstück in 725 m Höhe, und dann folgen die niederen Terrassen der Talweitung Lenggries-Tölz.

Das Isartal unterhalb Fall habe ich erst unterhalb Lenggries untersucht. Es wird hier von niederen, postglazialen Schotterterrassen begleitet, in denen bei Kern ein älterer Nagelfluhrest zu stecken scheint. Lakustre Ablagerungen habe ich bis in die Nähe von Tölz nicht angetroffen. Wohl aber finden sich Seetone, wie v. KLEBELSBERG¹ berichtet bei Tannern (724 m) und Letten (721 m) im östlichen Abschnitt des Jachentales in der Talsohle. LEVY erachtet sie für die Sedimente des postglazialen Sees im Isartale, in den die postglaziale Terrasse desselben beim Bacherleger hineingeschüttet wurde; doch kann es sich auch, wie bei Fall, um Ablagerungen des interglazialen Sees handeln, der sich ein Stück weit im Jachentale aufwärts erstreckte.

4.5 km oberhalb Tölz setzt die mehrfach beschriebene höhere Terrasse des Wackersberges ein, die eine ähnliche breitrückige Oberfläche besitzt wie die Mittenwalder Mäher. Wie ich 1913 gezeigt, liegt unter der Hangendmoräne, südlich Wackersberg, Isarschotter, der bald locker, bald zu Nagelfluh verkittet ist. Darunter findet sich an der Südspitze der Terrasse schräge geschichteter sandiger Kies, ein altes Delta in rund 700 m Höhe. In dem von Höfen südwärts führenden Tälchen streicht unter dem Schotter in 690 m Höhe Grundmoräne aus; auf ihr treten die zahlreichen Quellen zutage, die den Mühlgraben der Bibermühle speisen. Nördlich von letzterer kommt am Fuße des Wackersberges gleichfalls Grundmoräne zum Vorschein, die sich

¹ Glazialgeologische Notizen vom bayrischen Alpenrande III und IV. Zeitschrift für Gletscherkunde VIII, 1914, S. 226 (256).

bis 680 m erhebt. Höher setzen an der Straße in 700 m Höhe Nagelfluhwände auf einem Sockel von Seetonen ein und steigen bis etwa 730 m an.

Die Schichtenfolge am Südende des Wackersberges ist die in den höheren Terrassen des Isartales übliche: unten und oben Moräne, dazwischen fluviatile Schotter über lakustren Bildungen. Letztere sind am Südende des Wackersberges unbedeutend, aber weiter nördlich werden sie ansehnlich. Da treffen wir dicht oberhalb Tölz auf seinem Abfalle mächtige Seetone, die als »Tölzer Kreide« ausgebeutet worden sind. Aber in ihrem Hangenden haben wir nicht die gewöhnlichen Isarschotter, sondern eine mannigfaltig zusammengesetzte Geröllablagerung, die allmählich durch Aufnahme gekritzter Geschiebe in fluvioglazialen Schotter übergeht. Das übliche an Wettersteinkalk reiche Isargerölle finden wir am Westabfalle des Wackersberges am Einbache unweit des Sonnerhofes, und zwar in annähernd gleicher Höhe, bis zu welcher die »Kreide« ansteigt; bald haben wir es mit losem Schotter, bald mit fester Nagelfluh zu tun. Ersterer nimmt nach oben zu gekritzte Geschiebe auf und geht unmerklich in Moräne über. Das Auftreten fluvioglazialer Schotter unter den hangenden Moränen verleiht dem Nordende des Wackersberges besondere Bedeutung. Ob seine rein fluviatilen und lakustren Schichtglieder auch auf Moränen aufsitzen, läßt sich nicht durch direkte Beobachtung feststellen, aber an seinem West- und Ostfuße treten Moränen so dicht, dort neben die Nagelfluh und hier neben die Seetone, daß man sie nur als Liegendmoräne auffassen kann¹.

Die an Wettersteinkalkgeröllen reichen Isarschotter greifen bei Tölz auf das rechte Isarufer über und lagern am Kalvarienberge in etwa 670 m Höhe auf dem aufgerichteten Tertiär auf. Wir begegnen ihnen nördlich Tölz unter Moränenbedeckung zwischen Königsdorf und Sonnenhofen in 610—630 m; unter ihnen treten starke Quellen hervor, doch fand ich das Liegende nicht erschlossen. Endlich treffen wir sie bei Wolfratshausen an der Isar wieder. Sie streichen über dem Markte aus und ziehen sich bald als Nagelfluh, bald als loses Geröll entwickelt, bis gegen Icking. Auch an ihrer Sohle gibt es am Südende von Wolfratshausen ergiebige Quellen, aber das Liegende ist hier nicht erschlossen; der Aushub aus einem kleinen Teiche, in dem das Wasser für die Mühle gesammelt wird, hat indes gekritzte Geschiebe gefördert, weswegen hier wohl liegende Moräne anzunehmen ist. Südlich Icking faßt die Wasserleitung des Dorfes das Quellwasser und hat an der Sohle der Schotter, wie schon 1902 erwähnt, Moräne erschlossen. Sie zieht sich mutmaßlich bis zur Loisachmündung. Hier sind mächtige Schollen der hangenden Nagelfluh auf schlüpfriger Unterlage abgesehen und bis an den Fluß herab gelangt. ROTHPLETZ hat sie für anstehenden Deckenschotter genommen und daraus auf

¹) Anderer Meinung ist ROTHPLETZ (S. 74). Er verweist ganz mit Recht darauf, daß sich die Moränen wie ein Mantel über den Wackersberg breiten, also sowohl am Fuße ebenso wie auf der Höhe Hangendmoränen sein können. Aber er übersieht, daß dort, wo die in Rede stehenden Moränen am Fuße des Berges auftreten, dieser durch die Isar und den Einbach angeschnitten ist, so daß hier der Mantel der Hangendmoräne abgeschnitten ist. Auch entgeht ihm, daß am Südende des Berges die untere Moräne als Liegendmoräne deutlich erschlossen ist und von hier bis an die ehemaligen Kreidegruben ziemlich ununterbrochen verfolgt werden kann.

eine tektonisch bedingte besonders tiefe Lage desselben geschlossen. Aber die großen Entblößungen an der Weißen Wand zeigen, wie 1920 dargetan, unter mächtiger Moränenbedeckung einen ganz allmählichen Übergang von losem zu verfestigtem Kalkschotter. Kristalline Gesteine sind selten, wohl aber kommen häufig Gerölle vor, die der obermiozänen Nagelfluh entnommen sind. Im Schloßtälchen nördlich Wolfratshausen sieht man bald losen Schotter, bald Nagelfluh; eine große Grube an seiner Südseite zeigt beide in inniger Verknüpfung und läßt deutlich erkennen, wie im Gerölle die kristallinen Gesteine nach oben zahlreicher und zahlreicher werden. Das Kalkgerölle, das hier ziemlich viel Hauptdolomit enthält, geht, wie schon 1902 gezeigt, allmählich über in ein zentralalpines Rollsteinen reiches, das ganz und gar den Habitus des Münchener Niederterrassenschotters trägt, wie er sich weiter nördlich an die Jung-Endmoränen anlegt oder unter ihnen hervorquillt. Wir haben also auch zwischen Wolfratshausen und Icking Hangend- und Liegendmoränen zu unterscheiden, die durch eine mindestens 50 m mächtige Schotterformation voneinander getrennt werden. Diese trägt aber nur in ihren unteren Partien den Charakter des Kalkgerölles, das wir durch das ganze Isartal verfolgt haben, in ihren oberen hat sie alle Kennzeichen einer fluvioglazialen Ablagerung; eine Grenze zwischen beiden Typen ist nicht zu erkennen. Die lakustren Bildungen fehlen hier im Vorlande der Alpen, während solche bei Schaftlach in einem 180 m tiefen Bohrloche zwischen 595 und 653 m Höhe erschlossen wurden¹. Ob diese die Fortsetzung der Tölzer Seetone sind, wie ROTHPLETZ annimmt, läßt sich nicht erweisen. Sie liegen in der Richtung der Furche des Tegernsees.

Wir überblicken nunmehr die Entwicklung der Terrassen im Isartale, soweit sie in der Bahn des alten Inngletschers gelegen sind, von Seefeld bis Tölz. Auf dem größten Teil dieser Strecke (vergl. Fig. 3 EF), nämlich auf 50 km Entfernung, haben wir postglaziale Terrassen. Spurenweise sind sie bereits bei Mittenwald zu erkennen. Ausgesprochen setzen sie erst 3 km unterhalb des Marktes ein, dort wo oberhalb der Isarbrücke der an zentralalpines Gerölle reiche Schotter auf dem Seeton lagert. Von hier an haben wir erst am rechten Ufer beim Horn, dann am linken von den Kreidegruben an über Krünn bis Wallgau ausgedehnte Terrassenfelder; ihnen ist der flache Schuttkegel des Finzbaches aufgesetzt, der den Barmsee aufdämmt. Der Graben, der Isarwasser dem Walchensee zuleiten soll, hat ihre Zusammensetzung auf fast 3 km Entfernung bloßgelegt. Sie werden aus vornehmlich kalkalpinen Schottern aufgebaut, denen der Kalkschutt des Finzbaches aufgesetzt ist. Manchmal findet sich Lehm zwischen dem wohlgerundeten Schotter und dem hangenden Schutt; ersterer stößt am Eingange des Wassertunnels westlich Wallgau an einen steilen Abfall des Dolomites an. Die postglazialen Terrassen erlangen im Längstale zwischen Krünn und Fall ihre bedeutendste Entwicklung; da nehmen sie unter dem Schutze der ihnen aufgelagerten Schutt-

¹ WEITHOFER, Einige Querprofile durch die Molossenbildungen Oberbayerns. Jahrbuch k. k. geolog. Reichsanstalt LII, 1902, S. 39 (53).

kegel von Riß' und Dürrach die ganze Breite des Tales ein und steigen 20, bei Fall mehr als 30 m über den Fluß an. Auch im Quertale zwischen Hohenwiesen und Tölz fehlen postglaziale Terrassen nicht. Aber ihre Höhe ist hier geringer. Von Mittenwald an hat die Isar seit dem Schwinden der Vergletscherung den Sinn ihrer Tätigkeit zweimal geändert: erst hat sie aufgeschüttet, am meisten oberhalb der Enge des Sülvensteins, und dann wieder eingeschnitten. Dabei ist sie aber nirgends, mit Ausnahme der epigenetischen Enge von Fall, auf Fels gestoßen.

Oberhalb Mittenwald ist es nicht zur Bildung deutlicher jüngerer Terrassen gekommen. Die Tätigkeit der Isar ist bis Scharnitz hin in der Postglazialzeit eine wechselnde, vornehmlich aufschüttende gewesen. Der sich gegen Scharnitz hin erstreckende Riedboden ist eine ganz jugendliche Aufschüttung, die sich nur wenige Meter über das augenblickliche Schotterbett des Flusses erhebt. Aus dem Karwendelgebirge kommend, hat er bei Scharnitz einen flachen Schuttkegel in das Tal gebaut; darein einschneidend, ist er auf Fels gestoßen, der vom Südsporn des Brunnsteins ins Tal hineinspringt. Das ist der Felsriegel im Isarbette bei Scharnitz. In andauernder Verschüttung begriffen ist das zum Seefelder Passe führende breite Tal. Der von der Paßhöhe kommende Drahnbach versiegt in ihm, aufgelöst in einzelne Bewässerungsgräben. Weiter unterhalb haben der Gießenbach und namentlich der nur zeitweilig fließende, vom Hohen Sattel (1483 m) herabkommende Bach mächtige Schuttkegel in unsere Furche geschüttet. Erst 1 km oberhalb Lehenwald, wo letztere sich in die engen Einschnitte des Klammaches und Seebaches ausläuft, begegnen wir zwischen dem Alpenfuße und dem Seefelder Passe zum ersten Male anstehendes Gestein in den obersten Kilometern am Boden unserer Strecke, sofern wir von der epigenetischen Enge von Fall abschen.

Leichte Anzeichen eines wiederholten Wechsels in der Flußtätigkeit während der Postglazialzeit begegnen wir auch im Leutaschtal oberhalb der Klamm. Unweit der Kirche St. Johann findet sich am linken Bachufer eine niedere und sehr schmale postglaziale Terrasse; ausgedehnter ist die von Oberleutasch; sie steigt rasch gegen die Enge der Öfen hin an, in welcher die Leutasch aus dem Gäistale herauskommt. Die Dinge liegen hier also anders als in der breiten, von Scharnitz gegen den Seefelder Paß hinführenden Furche. Sehr bemerkenswert sind die postglazialen Terrassen östlich vom Quertale der Isar in dem zum Tegernsee führenden Weissachtale. Sie beginnen dicht unterhalb Glashütte und erlangen zwischen Kreuth und Tegernsee ansehnliche Entfaltung. Gegen letzteren hin enden sie an der Weissachmühle in einem alten Delta von 741 m Höhe und entsprechen daher einem solchen Hochstande des Sees. Dagegen fehlen postglaziale Terrassen westlich vom Quertale der Isar in dem der Loisach. Ihre Entwicklung erscheint daher im wesentlichen durch örtliche Umstände bedingt.

Die postglazialen Schotter des Isargebietes werden ganz vornehmlich von kalkalpinen Gesteinen aufgebaut. Zentralalpine sind lediglich unterhalb Mittenwald in ihnen reichlicher vertreten, wo sie dicht neben den Jungmoränen und den interglazialen Schottern auftreten. Sonst sind sie spärlich, stellenweise sehr spärlich. Die Schotter können daher erst abgelagert worden sein,

als sich der Innegletscher gänzlich aus dem Isargebiete zurückgezogen hatte. Man kann sie daher nicht mit Rückzugsstadien desselben in Verbindung bringen. Solche lassen sich in unserem Gebiete nicht schärfer erkennen; namentlich fehlt jeder Anhalt, ein solches, wie LEVY will (S. 50), bei Krünn anzunehmen. Die langgedehnten Moränenwälle der Mittenwalder Mähder tragen nicht den Charakter von Endmoränen; sie dehnen sich nicht quer über das Tal, sondern strecken sich Drumlin-ähnlich in der Längsrichtung desselben. Noch weniger können die zahlreichen erratischen Blöcke im Milchgraben bei Wallgau als Zeugen eines Gletscherhaltes gelten. Sie sind liegengeblieben, als die Hangendmoräne erodiert wurde, ebenso wie die massenhaften Findlinge im Gießbachtale oberhalb Scharnitz. Auch mit den Moränen lokaler Gletscher sind unsere postglazialen Schotter nirgends verknüpft. Sie stellen eine eigene Formation dar, die mit glazialen Erscheinungen nicht in Verbindung gebracht werden kann.

Dasselbe gilt von den Schottern der höheren, älteren moränenbedeckten Terrasse, die wir mit nicht allzu großen Lücken vom Fuße des Seefelder Passes bei Lehenwald bis zum Fuße der Alpen bei Tölz verfolgt haben. Sie bestehen gleichfalls vornehmlich aus kalkalpinem Material und sind weder mit den hangenden noch mit den liegenden Moränen verknüpft. Von den ersteren werden sie, wie namentlich die großen Aufschlüsse unterhalb Mittenwald lehren, diskordant abgeschnitten, von den letzteren durch die lakustre Formation getrennt. Zwischen Moränen gelagert, mit denen sie genetisch nicht verbunden sind, müssen sie als eine interglaziale Bildung gelten, als ein älteres Seitenstück zur Formation der postglazialen Terrassen.

Wie ein Mantel breiten sich die Hangendmoränen diskordant über die einzelnen Stücke der älteren Terrassen. Die Diskordanz macht uns sicher, daß die ursprüngliche Höhe der Schotter wohl nur in den seltensten Fällen vorliegt. Gewiß nicht in den Mittenwalder Mähdern; denn ihnen schräg gegenüber, wenig flußaufwärts steigen sie 130 m höher an. Gewiß nicht bei Wallgau, denn hier liegen nur bescheidene Überreste einer viel weiter ausgedehnt gewesenen Aufschüttung vor, aber auch nicht bei Tölz, wo die Schotter vom Moränenmäntel des Wackersberges abgeschnitten werden. Will man die interglaziale Schotterterrasse wieder ergänzen (AB in Fig. 3), so muß man von ihren höchsten Stellen ausgehen, nämlich vom Ochsenboden bei Mittenwald und vom großen Wurf bei Vorderriß. Man kommt im ersteren Falle zu einer Höhe von 220 m, im letzteren von 120 m über Tal. Diese größten Höhen unserer Terrasse paaren sich mit den größten erschlossenen Mächtigkeiten unserer Schotter, nämlich von mehr als 140 m am Ochsenboden und 90 m in der Au. Die Schottermächtigkeit ist es, welche die Höhe der alten Terrasse bestimmt, und wir müssen, wenn wir sie rekonstruieren wollen, eine ganz außerordentlich starke Verschüttung des Isargebietes annehmen, von der nur sehr unbedeutende Reste erhalten sind.

Die interglaziale Schotterterrasse des Isartales erreicht beim großen Wurf nahezu die Höhe einer Felsterrasse von 900 m, welche dem präglazialen Talboden entsprechen dürfte. Beim Ochsenboden erhebt sie sich hingegen ansehnlich über die entsprechenden Felsterrassen der Umgebung von Mittenwald

und auch über die Stufenmündung des Leutaschtales (1030 m). Kann man im Längstale der Isar denselben Eindruck erhalten, den ERNST NOWAK¹ im Inntale hatte, nämlich daß die Aufschüttung der Terrasse den Betrag der glazialen Übertiefung wettmache, und den präglazialen Talboden wiederherstelle, so liegt ihr Schotterfeld bei Mittenwald ganz erheblich darüber. Hoch über demselben muß es sich gleichsohlig aus dem Isartale über der tief vergrabenen Stufenmündung ins Leutaschtal gezogen haben; dessen Terrassen gehören daher in die Flucht der Isarterrassen. Bei Oberleutasch gegenüber der Kirche auf 1140 m, beim Platzl auf 1160 m ansteigend, erheben sie sich etwas höher als die hochgelegenen Schotter am Ochsenboden und lassen erkennen, daß sich der Aufstieg der aufgeschütteten Talsohle flußaufwärts fortsetzt.

Dies Ergebnis ist bedeutungsvoll angesichts der Tatsache, daß weder im oberen Isartale bis Scharnitz noch im Seefelder Paßtale Schotter vorkommen, die so hoch liegen wie am Ochsenboden, und läßt mutmaßen, daß sie dort in ausgedehntem Umfang erodiert worden sind. Dafür spricht das Auftreten von Schottern in 1120—1140 m unter den Moränen des Gießenbachtals, rechts vom Seefelder Paßtal. Man kann sie mit einer bis über die Höhe der Stufenmündung reichenden Verschüttung des letzteren in Zusammenhang bringen. Aber auch diese höher als die höchsten bei Mittenwald gelegenen Schotter reichen gleich denen des Leutaschtales nicht entfernt so hoch, wie man nach dem Anstiege der Schotter zwischen großem Wurf und Ochsenitz mutmaßen sollte. Denkt man sich denselben isar- und leutasch aufwärts fortgesetzt, so käme man hoch über den Seefelder Paß (1185 m) oder das Katzenloch (1220 m), das vom Leutaschtale ins Oberinntal führt. Es ist aber klar, daß die Verschüttung sich nicht über die Paßfurchen erhoben haben kann; denn sonst wären die Flüsse zum Inn übergeflossen und hätten damit eine so tiefe Erosionsbasis gewonnen, daß sie aufhören mußten, zu akkumulieren. Nun sind allerdings die Paßfurchen gewiß seither vom Eise abgeschliffen worden und können in ihrer heutigen Höhe deshalb uns nur ungefähr ein Höchstmaß für den Anstieg der unverletzten Schotterterrassen oberhalb Mittenwald gewähren. Es ergibt sich zu 4‰ gegen den Seefelder Paß, zu 6‰ gegen das Katzenloch, ist also in beiden Fällen erheblich geringer als das Gefälle unterhalb Mittenwald (9‰) und nähert sich dem zu den höchsten Schottervorkommnissen oberhalb Mittenwald im Gießenbachtale (2‰) und der Oberleutasch (3‰). Daß die Aufschüttung zu der Seefelder Paßfurchen geringer anstieg als weiter unterhalb, kann nicht wundernehmen; denn sie erfolgte hier an einem Seitenaste des aufschüttenden Flußes, der Isar. Aber längs der Leutasch sollte sie stärker ansteigen, denn diese war der Schotter bringende Fluß. Es fügt sich weder die nachweisbare noch die mögliche Aufschüttung des Leutaschtales mit der des unterhalb Mittenwald gelegenen Isartales zu einer normalen Gefällskurve; eine solche ist entweder durch die Aufschüttung nicht erreicht oder nachträglich gestört worden.

Auf rund 16 km Entfernung, also dem vierten Teile der Strecke Oberleutasch bis Tölz ist die interglaziale Terrasse im Isargebiete erhalten. Sonst

¹ Die Entstehung der Inntalerrasse. Geolog. Rundschau IX, 1919, S. 178.

ist sie zerstört. Diese Zerstörung war nach der letzten Vergletscherung vollendet. Aber sie hat schon vor deren Eintritt begonnen. Tief eingesenkt in die interglazialen Schotter sind bei Mittenwald solche, die wir wegen ihrer reichen Führung erratischen Materials als fluvioglaziale ansehen. Es ist eine eigene Fügung, daß ich den einschlägigen Aufschluß bei meinen ersten Begehungen des Isargebietes zuerst kennenlernte und deswegen 1882 alle dortigen hochgelegenen Schotter für fluvioglazial erachtete. Auch AMPFERER (a. S. 125) hat diesen Aufschluß offenbar im Auge, wenn er die Isarterrassen wegen Beteiligung zentralalpiner Gerölle an ihrer Zusammensetzung als Ausläufer der Inntalterrasse ansieht. Die große petrographische Verschiedenheit der größten Teile der Terrassenschotter im Isargebiete von denen am Inn, die uns namentlich im oberen Leutaschgebiete aufgefallen ist, schließt eine solche Möglichkeit völlig aus. Während nun aber bei Mittenwald die fluvioglazialen Schotter in einem in die interglazialen eingefurchten Tale abgelagert wurden, lagern sie bei Tölz letzteren auf und gehen allmählich aus ihnen hervor. Gleiches geschieht bei Wolfratshausen im Alpenvorlande. Wir haben daher im Innern des Gebirges eine wesentlich andere Geschichte der Tätigkeit der Isar als an dessen Rande und vor demselben. Bei Mittenwald wurden die interglazialen Schotter gleich nach ihrer Ablagerung schon vor Eintritt der letzten Vergletscherung wieder zerschnitten, bei Tölz und Wolfratshausen schloß sich an ihre Ablagerung die der fluvioglazialen Schotter unmittelbar an. Ähnliches zeigen die postglazialen Schotter. Im Gebirge sind sie von der Isar zerschnitten, und deren Alluvialschotter sind in sie eingesenkt; vor dem Gebirge verflachen sich die postglazialen Terrassen in die Talsohle, und es gibt hier in der Postglazialzeit ununterbrochene Schotterablagerung. Ähnliches finden wir an zahlreichen großen Schuttkegeln der Alpen: Ihre Spitze ist vom Wildbache zerschnitten; an ihrem Fuße werden sie von letzterem noch aufgeschüttet. Es wandert auf ihnen der Wendepunkt zwischen Erosion und Akkumulation abwärts. Unsere interglazialen Terrassen sind indes nicht wie die Schuttkegel durch das Ausgleichen bestehender Gefällsbrüche bedingt. Solche sind zwar durch die glaziale Übertiefung geschaffen worden, aber die Aufschotterung greift über deren Grenzen, wie wir gesehen haben, weit hinaus und hat die Mündungsstufen der Nebentäler gänzlich verhüllt gehabt. Sie muß daher Folge eines anderen Eingriffes in die Talgeschichte sein, als ihn die Vergletscherung darstellt. Als solcher können nur die Überlastung der Flüsse mit Geschieben oder Krustenbewegungen in Betracht kommen.

Unter den interglazialen Schottern fluviatilen Ursprungs treffen wir auf der fast 53 km messenden Strecke von Mittenwald bis Tölz lakustre Ablagerungen, die bei Fall auch ohne das sonst übliche Hangende auftreten und möglicherweise auch in das Tal der Jachenau eingreifen. Wie uns die einzelnen Schottervorkommnisse auf jener Strecke lediglich als Überreste einer großen, zusammenhängend gewesenen fluviatilen Formation erscheinen, obwohl sie nur auf deren viertem Teile nachweisbar sind, so hegen wir kein Bedenken, auch die ebenso ausgedehnten lakustren Gebilde als Bruchstücke einer großen, zusammenhängend gewesenen Seebildung aufzufassen, obwohl

heute in den Ostalpen Seen von solcher Länge nur ausnahmsweise vorkommen. Wir finden keinerlei Schranken, welche zwischen den lakustren Bildungen der Strecken Mittenwald-Krünn, bei Wallgau, Vorderriß-Fall und Tölz existiert haben könnten. Zwischen Krünn und Wallgau ist das Tal außergewöhnlich breit, man wüßte nicht, wo hier einen Riegel setzen. Zwischen Wallgau und Fall haben wir ein breites Längstal, das keine Andeutung einer Einschnürung erkennen läßt, die zwei Seen getrennt haben könnte. Zwischen Fall und Tölz haben wir zwar am Sülvenstein eine solche, aber gerade durch diese Enge hat sich der See hindurchgezogen. Man findet auch keine plausible Möglichkeit, sich zwischen den Strecken mit lakustren Ablagerungen mobile Schranken zu denken. Man könnte sich allerdings vorstellen, daß ein aus dem Rißtale ins Isartal mündender Gletscher in letzterem oberhalb von sich einen See staute. Aber gegenüber der Rißmündung erweisen am Ochsenitze lakustre Ablagerungen, daß gerade hier, wo sich der stauende Gletscher erstreckt haben müßte, der See lag. Man könnte sich weiter denken, daß die Riß und die Dürrach einst ähnlich wie heute mächtige Schuttkegel ins Isartal bauten, und daß dieselben hier Seen aufdämmten, wie auf dem Reschenscheideck. Aber gerade dort, wo diese Schuttkegel gelegen haben müßten, fanden wir am Ochsenitze bei Vorderriß und in der Dürrach bei Fall die lakustren Ablagerungen. Auch erscheinen dieselben im Isartale nirgends durch alte Moränenwälle voneinander getrennt; namentlich werden die der Strecke Mittenwald-Krünn nicht von denen bei Wallgau durch solche eines Haltes der sich zurückziehenden vorletzten Vergletscherung bei Krünn getrennt. Keine Spur eines alten Schuttkegels oder Moränenwalles schaltet sich zwischen die Seetone von Fall und die des Wackerberges.

Lange Zeit hat mir geschienen, als ob die lakustren Schichten in kleinen Seen gelagert worden seien, die Flüsse durch rasch von statten gehende Aufschüttung neben sich aufgestaut haben, so wie man dies an der unteren Donau vielfach sieht. Zugunsten dieser Annahme spricht, daß hier und da, z. B. am Staffelgraben nördlich der Au bei Vorderriß, Bändertone in die fluviatilen Schotter eingeschaltet sind, oder daß fluviatile Schotter im Niveau von Seetonen auftreten, wie am Ochsenitz bei Vorder Riss und am Nordende des Wackerberges bei Tölz. Aber ein derartiges Nebeneinander-vorkommen lakustrer und fluviatiler Schichten beschränkt sich auf die Grenzzone zwischen einem unteren lakustren und einem oberen fluviatilen Horizonte und findet sich weder in den Basisschichten der ersteren noch in den Hangenschichten des letzteren. Stets beginnt unsere Schichtfolge mit Seebildungen, stets endet sie mit Flußablagerungen. Deutlich gliedert sie sich in zwei Abteilungen, die allerdings durch eine Übergangszone mit einander verknüpft sind. Haben wir es aber mit einem durchlaufenden, wenn auch nur bruchstückweise erhaltenen lakustren Horizonte zu tun, so können wir die Schlußfolgerung nicht vermeiden, daß während der Riß-Würm-Interglazialzeit ein einheitlicher See von der Länge des Comersees im Isartale vorhanden gewesen ist und vielleicht einen mindestens 5 km langen Arm im Tal von Jachenau erstreckt hat. Von den Seiten her in den See eingeschüttete Deltas sowie andere Uferbildungen ermöglichen, uns zwischen Mittenwald und Vorderriß

die Spiegelhöhe dieses Sees mit großer Genauigkeit zu bestimmen, während dies bei Tölz nur in weiteren Grenzen möglich ist (Vgl. CD in Fig. 3.).

Man könnte sich diesen See durch die Molassehöhen bei Tölz gestaut denken. Aber diese steigen nur auf rund 700 m an; und es besteht keine Möglichkeit, einen Riegel zu errichten, der den See bis zur Höhe von 950 m spannte, die er bei Mittenwald gehabt hat. Ein Riegel bei Tölz von solcher Höhe würde den See veranlassen, über den Achensee zum Inn, oder über den Walchensee abzufließen. Zudem finden wir bei Tölz keine Spur eines so hohen Seestandes. Unsere lakustren Ablagerungen steigen um so höher an, je tiefer wir in das Gebirge gehen. Nun ist zwar zu gewärtigen, daß die Ablagerungen in einem See, der gleichzeitig durch Zuschüttung von oben und durch Tieferlegen des Abflusses von unten her zum Erlöschen gebracht wird, sich allmählich seeabwärts senken, aber die Uferbildungen müßten doch Niveauflächen entsprechen. Das gilt für unseren alten See im Isartale nicht. Alle seine Ablagerungen steigen flußaufwärts an, sowohl die Tone des Seebodens als auch die Deltaschotter und Breccien der Uferhalden, und zwar sowohl in der Längstalstrecke Tölz-Fall, an deren oberen Ende die Seetone 40 m höher ansteigen als am unteren, wie auch in der Längstalstrecke Fall-Wallgau und der Quertalstrecke Wallgau-Mittenwald. Am Wilfertsgraben können wir den Spiegel des alten Sees durch das Delta eines seitlichen Zuflusses in 800 m, höchstens 820 m, festlegen, 14 km weiter oberhalb zeigen ihn die Uferhalden bei Wallgau 900 m, und weitere 7 km aufwärts die Deltas bei Mittenwald 950 m hoch. Er steigt vom Wilfertsgraben bis Wallgau und von dort bis zum Horn bei Mittenwald um 7‰ an. Der Spiegel unseres alten Sees ist deformiert, und zwar in den Quer- und Längstalstrecken zwischen den genannten Orten um gleiche Beträge, er steigt gegen S 70° W um 7—8‰ an. Ganz ebenso ergibt sich sein Anstieg aus den lakustren Ablagerungen zwischen Tölz, Wilfertsgraben und Wallgau hin.

Mit einer solchen nordnordwestlich streichenden Aufwölbung der Bayerischen Alpen würde im Einklang stehen, daß wir noch westlich vom Isartale hochgelegene lakustre Tone treffen, die am Kalten Wasser oberhalb Klais in 970—980 m Höhe ausgebeutet werden. Sie fallen genau in das Niveau des deformierten Seespiegels. Ein so hochstehender See müßte sich aber bis über die Wasserscheide gegen die Loisach weg erstreckt haben. Im Loisachgebiete fehlen jedoch alle Spuren von ihm. Was hier an lakustren Ablagerungen bei Kaltenbrunn auftritt, hat eine andere stratigraphische Stellung. Die dortigen Seetone liegen nicht unter fluviatilen Ablagerungen, sondern über solchen; sie ordnen sich in eine Gruppe glazialer Staubildungen, die am Loisachtale ebenso wie am Inntale auftreten und zu denen wir auch die hochgelegenen Tone am Kalten Wasser rechnen könnten. Vor allem aber fügen sich die lakustren Ablagerungen im Rißtale nicht in das Bild einer nordnordwestlich streichenden Deformation. Hat eine solche stattgefunden, so müßten sie im Längstale zwischen Eng und Hinterriß talaufwärts tiefer liegen, als talabwärts. Dafür findet sich kein Anhaltspunkt. Es liegen vielmehr die geringen Spuren von ihnen, die wir flüchtig kennengelernt haben, in der oberen Talstrecke am höchsten und erheben sich hier um fast 200 m über die

lakustren Ablagerungen von Vorderriß. Das weist auch dann, wenn der See im Rißtale nicht mit dem des Isartales zusammengehangen haben sollte, auf eine Hebung, die im Süden stärker ist als im Norden, denn wir finden keine Möglichkeit, im Rißtal zwischen Vorder- und Hinterriß einen Riegel zu errichten, der die oberhalb gelegene Talstrecke bis auf 1000 m Höhe abdämmte. Allerdings würde ein aus dem Johannestale vordringender Gletscher eine solche Abdämmung bewirken können, aber gleichzeitig mit ihm müßten im Lalider- und Engtale Gletscher bis ins Längstal wachsen und sich gerade dort ausdehnen, wo wir die Spuren des Sees antreffen.

Wir geben daher die geometrische Rekonstruktion einer nordwestlich streichenden Deformation des Spiegels vom altem Isartalsee auf, die sich in verführerischer Weise daraus ergibt, daß dessen Lage nach den drei Fixpunkten: Wilfertsgraben, Wallgau, Mittenwald sich genau ebenso ergibt wie nach den Orten: Tölz, Wilfertsgraben und Wallgau, obwohl die Höhe des Seespiegels bei Tölz weniger genau bekannt ist als die an den anderen Stellen. Wir tragen in erster Linie dem starken Ansteigen der lakustren Ablagerungen gegen Süden im Riß- und im Quertale der Isar oberhalb Wallgau Rechnung und schließen danach auf ein im wesentlichen ostwestliches Streichen der Deformation. Ein solches kann uns auch das steile Ansteigen der lakustren Bildungen im Längstale der Isar zwischen dem Wilfertsgraben und Wallgau erklärlich machen, wenn wir annehmen, daß hier die Schrägstellung steiler war als weiter oberhalb und namentlich weiter unterhalb gegen Tölz hin, wo uns auf 20 km Entfernung alle Anhaltspunkte zur Bestimmung der Höhenlage des alten Sees fehlen. Wir erhalten dann eine Aufwölbung, die annähernd parallel zum Karwendelgebirge streicht, das sich um rund 300 m seit der lakustren Zeit über den Alpenrand gehoben haben müßte¹.

Daß diese Deformation in allen Einzelheiten so regelmäßig war, wie sie sich aus der Höhenlage der hauptsächlichsten Aufschlüsse ergibt, soll nicht behauptet werden. Am Ochsensitz bei Vorderriß erheben sich z. B. die Seetone nicht ganz so hoch, wie wir aus dem Anstiege Großer Wurf-Wallgau zu schließen hätten, nämlich nicht auf 840, sondern höchstens 820 m; eine kleine Unregelmäßigkeit im Streichen oder Fallen der angenommenen Aufwölbung würde diese Unregelmäßigkeit erklären; doch liegen die Aufschlüsse nicht klar genug, um eine genaue Bestimmung der Spiegelhöhe zu ermöglichen.

Die innige Beziehung der interglazialen lakustren Formation zu den hangenden fluviatilen Schottern schließt den Gedanken aus, daß die Hebung, die sie erfahren haben, nicht auch jene betroffen haben. Eine von den beiden Möglichkeiten, zu denen wir durch Erörterung des Gefälles der Schotteroberfläche gelangten, trifft zu; sie ist nachträglich gestört worden. Vom Anstieg von 230 m der Schotter zwischen großem Wurf und Ochsensitz kommen 150 m auf eine nachträgliche Hebung, und wir haben das ursprüngliche Gefälle der Verschüttung unterhalb Mittenwald nicht auf 9‰, sondern auf kaum 3‰ zu veranschlagen. Das entspricht dem Anstiege unserer Schotter

¹ Vgl. das Kärtchen in meinen Darlegungen: Die letzten Krustenbewegungen in den Alpen. Geologiska Föreningens Förhandlingar XLII S. 607. Stockholm 1922.

in der Leutasch; ihre relativ tiefe Lage weist darauf, daß sie nicht dieselbe Hebung wie die unterhalb gelegenen erfahren haben. Die durch die lakustren Ablagerungen angezeigte Schrägstellung des Isargebietes unterhalb Mittenwald setzt sich talauf nicht oder nur abgeschwächt fort. Die Gegenl von Mittenwald bezeichnet, wenn nicht einen Scheitel, so doch mindestens einen Knick in der Schrägstellung. Jede Schrägstellung eines verschütteten Tales muß aber notwendigerweise zu einer Belebung der Erosion in den am höchsten gehobenen Partien führen. Der Wechsel in der Tätigkeit der Isar, den wir vor Eintritt der letzten Vergletscherung erkannt haben, verlangt, daß wir die Schrägstellung des Isargebietes zwischen Tölz und Mittenwald gegen das Ende der letzten Inter-glazialzeit ansetzen. Dadurch wird deren Gliederung in drei Phasen: zu Anfang eine lakustre, dann eine solche fluviatiler Aufschüttung und schließlich die der fluviatilen Einschneidung erklärlich.

Die lakustre Formation müssen wir ebenso wie die fluviatile als interglazial ansehen; denn sie steht gleich derselben nirgends mit Moränen in Verknüpfung. Nirgends schaltet sich in die Seetone glaziales Material, nirgends begegnen wir solchem in den Deltas; es fehlt in der Wallgauer Breccie, die wir als alte Seehalde ansehen. Wohl aber gibt es neben diesen interglazialen lakustren Gebilden auch lakustro-glaziale: die alten Deltas bei Scharnitz und am Riedboden zeigen an, daß der alte See im Isartale schon bei Rückzug der vorletzten Vergletscherung vorhanden war und so hoch stand, wie nach dem Anstiege der interglazialen lakustren Ablagerungen gewärtigt werden kann, weswegen wir in Fig. 3 das Scharnitzer Delta unter den höchsten lakustren Ablagerungen zur Darstellung bringen. Allerdings fehlen den interglazialen Seebildungen Fossilien, die eine interglaziale Fauna und Flora darböten. Wir haben nirgends Seekreide voller Schneckenschalen, so wie sie als Kennzeichen lakustrer Bildungen zu gelten pflegt. Aber es fragt sich, ob man solche am Boden eines immerhin tief gewesen Alpensees zu gewärtigen hat. Die Kriechspuren und kleinen Zweigstücke in den Seetonen von Mittenwald vergewissern uns, daß weder der See noch seine Umgebung leblos war. Faunistische und floristische Bedenken gegen das interglaziale Alter der lakustren Formation bestehen nicht.

Der interglaziale See des Isartales dehnte sich ausschließlich im Bereiche von dessen Übertiefung, auf deren Verlauf wir daher eingehen müssen, zumal wir LEVYS einschlägigen Darlegungen nicht immer beipflichten können. Sie folgt dem Aste des Inngletschers, der sich über den Seefelder Paß erstreckte. Auf der Paßhöhe liegt Seefeld in einer flachen Talweitung 1180 m hoch, die in einer 120 m hohen felsigen Stufe gegen das Paßtal abfällt; an ihrem Fuß liegen unter mächtiger Moränenbedeckung die erwähnten Schotter von Lehenwald. Auf der rechten Seite des Paßtales mündet in 1120 m Höhe stufenförmig das Gießenbachtal, und gegenüber finden sich beiderseits der tieferen Mündung des von Moränen und Schuttkegeln weithin verschütteten Tales »durch den Boden« terrassenförmige Absätze in 1160 und 1180 m Höhe. Bei Scharnitz, wo das Paßtal der Isar den unbedeutenden Gießenbach zuführt, haben wir die nächste Stufenmündung, aber sie knüpft sich nicht

an die Mündung des Nebenflusses, sondern an die Mündung des Seitengletschers, der hier dem Aste des Inngletschers tributär wurde. Sie liegt im Isartale und erreicht am Birzel 1125 m Höhe. Oberhalb von ihr sind die Stammtäler der Isar im Karwendelgebirge samt und sonders übertieft, aber ihre Übertiefung hängt mit der des Hauptgletschertales nicht zusammen. Auf mehr als 100 m hoher Stufe mündet oberhalb Mittenwald das Leutaschtal, über dem am Abfalle des Wettersteingebirges Puiten- und Berglental hängen. Gegenüber der Leutaschmündung setzt im Leiterwalde (1059 m) eine Felsterrasse ein, die beiderseits der Isar weit über Mittenwald hinausreicht. Auf ihr liegt auf dem linken Ufer der 16.5 m tiefe Lautersee in 1011 m Höhe; von hier streckt sie sich am Fuße des Hohen Kranzberges über P. 1008 m als höckerige Dolomitlandschaft bis an die Straße nach Mittenwald. Am rechten Isarufer setzt sie beim Marmorgraben wieder ein, und weiter ziehen sich am Fuße des Seinskopfes Absätze in 950—980 m entlang, aufgelöst in einzelne Kuppen, die durch flache Einsenkungen unterbrochen werden. Wir verfolgen diese zerstückte Terrasse bis ins Längstal der Isar hinein, wo sie gegenüber dem Milchgraben noch recht deutlich sichtbar wird. Daneben finden sich auch höhere Absätze, die gleich den tieferen zu näherer Untersuchung locken. Weiter abwärts fallen die Gehänge des Längstales recht gleichmäßig ab, und wir vermögen nur selten größere Terrassenstücke zu erkennen. Tief eingeschnitten in das rechte Gehänge ist die Mündung des Rißtales. In ihrem Bereiche finden sich an ihren linken Nebentälern, am Fermersbachtale in rund 1000 m, am Fischbachtale in 950 m Höhe, stufenförmige Absätze; und auf einem solchen liegt auf der anderen Talseite der Stuhlbach Niederleger in 930 m Höhe, weswegen wir auf eine Höhe des präglazialen Talbodens in rund 900 m Höhe an der Mündung des Rißtales schließen möchten. In dieser Höhe findet sich auch zwischen den Quellbächen des Wilfertsgrabens links der Isar ein ziemlich ausgedehnter terrassenförmiger Absatz. Eine sehr deutliche Stufenmündung treffen wir südlich Fall in 850 m; in enger Schlucht schneidet die Dürrach darin ein, während das benachbarte Walchental gleichsohlig dicht oberhalb der Enge des Sülvensteins mündet. Aber unmittelbar unterhalb derselben bricht auf der anderen Talseite das Schronbachtal in rund 800 m über der Isar ab. Ungegliedert senken sich weiter unterhalb bis zur Jachenmündung die Hänge des Rauchenberges und Schergenwieser Berges gegen den Fluß; gleichsohlig mündet dann das Jachental, aber gleich unterhalb haben wir bei Hohenreuth Absätze der beiderseitigen Hänge in 750—800 m Höhe, die als Reste des präglazialen Talbodens angesehen werden können. Weiter talabwärts vermögen wir dieselben nicht wieder zu erkennen.

Durch Stufenmündungen und Terrassenstücke können wir also den präglazialen Talboden von der Höhe des Seefelder Passes bis in das breite Quertal der Isar zwischen Lenggries und Tölz verfolgen. Es senkt sich konstant, aber nicht gleichmäßig: bis gegen Mittenwald hin ziemlich steil, dann kommt bis zur Mündung des Wilfertsgrabens eine Strecke mit recht geringem Gefälle, hierauf ein Absatz gegen Fall hin. Inwieweit sich diese Unregelmäßigkeiten auf nachträgliche Zerstörung der ins Auge gefaßten, dem präglazialen Talboden zugeschriebenen Terrassenstücke und Stufenmündungen zu-

rückführen oder eine nachträgliche Deformation desselben zeigen, vermögen wir nicht zu entscheiden. Keineswegs bieten aber diese Unregelmäßigkeiten Veranlassung, auf eine andere Entwässerungsrichtung der Isar zu schließen.

Wenn LEVY dies tut, so geschieht es, weil er die Höhe des präglazialen Talbodens bei Fall viel zu hoch, nämlich an der Wieselpe in 1015 m Höhe nimmt. Hier liegt weder Stufenmündung noch Terrasse vor, sondern ein Sattel, wie sich solche mehrfach zwischen das Isartal und seine Nebentäler schalten, z. B. bei den Grasberger Hochalpen (fast 1300 m) und an der Fischbachalpe (1433 m) gegen das Fischbachtal sowie gegen den Walchensee und die Jachenau. Alle diese Sättel, sofern sie als Taltorso gelten können, gehören einem weit älteren Talsystem an als dem präglazialen und dürfen zu dessen Rekonstruktion nicht verwendet werden. Daß die Isar in ihrem Längstale stets nach Osten geflossen ist, schließen wir auch aus der auffälligen Breitenzunahme des Tales von der Rißmündung an.

Alle Ablagerungen des interglazialen Sees befinden sich im Bereiche der Übertiefung. Seine Tone liegen in Mittenwald unmittelbar vor der Mündungsstufe des von der Lauterseeterrasse kommenden Lainbaches; seine Deltas legen sich an den Abfall der Terrasse des glazialen Talbodens an der Mündung des Seinsbaches, und ebenso ist es oberhalb des Kreidebruches am Staffelngraben im Bereiche des Wilfertsgrabens. Die Tone im Flußbette der Dürrach liegen am Fuße von deren Mündungsstufe und die nördlich vom Sülvensteine gerade gegenüber der Stufenmündung des Schronbaches. Diese interglazialen lakustren Ablagerungen machen den Betrag der Übertiefung des Isartales im allgemeinen wett; sie füllen die Furche aus, welche die Gletscher in den präglazialen Talboden eingeschliffen haben. Diese Furche mit allen ihren Stufenmündungen ist also in ihrer ganzen Ausdehnung älter als die letzte Interglazialzeit und damit auch älter als die letzte Vergletscherung. Selbst die Zerschneidung der Stufenmündungen hatte bereits vor ihr eingesetzt. Dies verraten mit Moränen oder auch mit älteren Schottern erfüllte Einschnitte in den Stufenmündungen, denen wir wiederholt begegnen. Neben der Mündungsklamm des Gießenbaches zieht sich ein zweiter mit Moränen erfüllter Einschnitt zu der Mündungsstufe herauf; ihm folgt der Weg ins Gießenbachtal. Die Stufe des Birzel im Isartale, welche gegenüber der Hauptbahn der Gletscherbewegung vom Seefelder Paß her als eine Mündungsstufe erscheint, ist längs der Isar bis oberhalb der Mündung des Karwendelbaches schon vor der letzten Vergletscherung zerschnitten gewesen; das lehren die bis zur Isar herabreichenden Moränen. Der Karwendelbach allerdings erreicht die Isar innerhalb der Stufe in enger postglazialer Schlucht. Aber die weiter oberhalb an ihm und gegen Scharnitz hin austreichenden Schotter zeigen an, daß auch er schon in der letzten Interglazialzeit in die Mündungsstufe eingeschnitten hatte. Neben der Leutaschkamm führt eine verlassene Klamm auf die Stufenmündung des Leutaschtales; ihr folgt die Straße. Oberhalb der Klamm, in welcher der aus dem Lautersee kommende Lainbach nach Mittenwald herabstürzt, führt eine zweite, mit Moränen ausgekleidete Klamm zur Stufe des Lautersees empor, der abermals die Straße folgt. Viermal haben wir es oberhalb Mittenwald in den Mündungsstufen mit Doppelklammen zu tun, zwischen denen sich gewöhnlich die Stufenschwelle nach der Art des Berges Isel bei Innsbruck an einer isolierten Höhe erhebt. Von den Doppelklammen ist die alte, mit Moränen teilweise erfüllte, stets die seichtere. Ganz entschieden gilt dies von denen am Gießenbachtale. Aber auch von

den beiden Klammen des Leutaschtales ist die verschüttete die seichtere. Sie mündet zwar neben der heutigen gleichsohlig als ein tiefer Einschnitt, an dessen Boden viel erratisches Material herumliegt. Aber wenn man in diesem Einschnitte aufwärts steigt, so kommt man bald an Felswände, oberhalb derer sich eine seichte Klamm, teilweise mit Moränen erfüllt, bis zur Leutasch fortsetzt, von deren Klamm sie sich 30—40 m über dem Wasserspiegel abzweigt. Wir haben es an jener Felswand geradezu mit einem fossilen Wasserfalle zu tun, dessen Vorhandensein uns bezeugt, daß die Zerschneidung der Stufenmündung nur ein kleines Stück weit vor Eintritt der letzten Vergletscherung bis zur Tiefe des heutigen Isartales geschehen war.

Das entspricht der Seichtheit der anderen verschütteten Klammen, für deren Entstehung wohl nur die letzte Interglazialzeit in Betracht kommen kann. Diese Seichtheit fällt angesichts der Tiefe der postglazialen Klammen auf; haben wir doch guten Grund anzunehmen, daß die letzte Interglazialzeit von viel längerer Dauer war als die Postglazialzeit. Aber wir dürfen nicht vergessen, daß die Interglazialzeit im wesentlichen Zeit der Seebildung und Akkumulation gewesen ist. Vor Eintritt der Talverschüttung können die interglazialen Klammen nur bis zum Spiegel des Sees im Isartale eingeschnitten worden sein und nach der Verschüttung nur bis zur Tiefe der Einschnitte, welche die der fluvioglazialen Aufschüttung vorangehende Erosion schuf. Das macht die durchschnittliche Seichtheit der interglazialen Klammen und die Eigenarten der verschütteten Leutaschkamm verständlich. Das seichte Stück der verlassenen Klamm wurde eingeschnitten, als sich im Isartale der interglaziale See am Ausgange der Klamm und mit mehr als 950 m Spiegelhöhe erstreckte, und deren weitergehende Vertiefung nicht zuließ; das tiefere Ende unterhalb des fossilen Wasserfalles erscheint als das Werk der interglazialen Erosion, die nach und gewiß auch schon während der Hebung eintrat und die, wie wir unterhalb Mittenwald sehen, bis unter den interglazialen Seespiegel herabreichte.

Die sehr bedeutende interglaziale Talverschüttung macht auch verständlich, warum die letzte Vergletscherung scheinbar so wenig an der Talvertiefung gearbeitet hat. Sie besorgte die Wiederausräumung der zwar schon bei ihrem Eintritt zerschnittenen, aber doch wohl größtenteils noch erhaltenen interglazialen Ablagerungen. Wenn sie dieselben nicht gänzlich entfernt und unterhalb von Lehenwald nirgends den felsigen Talboden bloßgelegt hat, so darf man ihre erosive Leistung doch nicht für gering ansehen; denn jene Aufschüttung reicht bei Mittenwald hoch über den präglazialen Talboden auf und ist größtenteils wieder entfernt worden. Die hier bewirkte Reexkavation des Tales übertrifft den Betrag der von den älteren Vergletscherungen geschaffenen Übertiefung ganz ansehnlich. Weiter talabwärts allerdings, im Bereiche der Mittenwalder Mäher hat man den Eindruck, als ob die während der älteren Eiszeiten geschaffene Übertiefung für die letzte Vergletscherung zu groß sei, denn sie hat nicht nur die interglazialen Schotter in weitem Umfang stehengelassen, sondern auch mächtige Moränen darüber gebreitet. Aber deren Anhäufung bedeutet nicht, daß der Gletscher über seinen Untergrund vollkommen wirkungslos hinwegging; er hat vielmehr denselben, wie

die Diskordanz zwischen Moränen und Schottern lehrt, erst erodiert und hernach mit Moränen überdeckt. Entsprechend war die Wirkung der vorletzten Vergletscherung. Sie baute in die übertiefte Talweitung schließlich die mächtigen Grundmoränen hinein, die unterhalb Wallgau an der Isar austreichen. In beiden Fällen folgte auf die glaziale Erosion die subglaziale Akkumulation derselben Vergletscherung, vielleicht die eine in den Zeiten des Vorschreitens und die andere in der Abschmelzperiode. Fast gänzlich sind die interglazialen Aufschüttungen im Längstale Wallgau-Fall entfernt worden, sie fehlen ferner in der Quertalstrecke bis zu deren Mündung ins Alpenvorland, ebenso wie längs der Riß in der Quertalstrecke Hinterriß-Vorderriß.

Im großen und ganzen hat die letzte Vergletscherung die Übertiefung der älteren wiederhergestellt, aber nicht den See, der beim Schwinden der vorletzten vorhanden war. Wenn überhaupt bei ihrem Rückzuge ein See an ihre Stelle trat, so könnte dies lediglich im breiten Tale Lenggries-Tölz geschehen sein, wo man gern einen postglazialen See mutmaßt; aber sicher nachgewiesen ist derselbe noch nicht. Keinesfalls erstreckte er sich in das Längstal Wallgau-Fall, und sicher reichte er nicht bis Mittenwald. Daß die nämliche Übertiefung im einen Falle zur Bildung eines 50 km langen interglazialen Sees und im andern höchstens zu der eines ziemlich kleinen, wenn überhaupt zur Seebildung führte, kann auf die Schrägstellung des Isargebietes unterhalb Mittenwald zurückgeführt werden; durch sie ist die übertiefte Wanne gekippt worden, so daß sie sich nicht wieder mit Wasser füllen konnte. Denkt man sich diese Schrägstellung beseitigt, so wird sich wieder von Tölz bis Mittenwald wie einst ein See erstrecken. Aber dann wird auch das Gefälle des präglazialen Talbodens beseitigt werden, das wir von Seefeld bis zur Jachenmündung festgestellt haben, ja es wird sich sogar stellenweise ein verkehrtes Gefälle ergeben. 150 m liegt der deformierte Spiegel des interglazialen Sees von Mittenwald über dem von der Au unterhalb Vorderriß, nur 100 m ist der Höhenunterschied der zugehörigen präglazialen Talböden. Wir müßten zur Annahme einer Einbiegung der Alpen zwischen Tölz und Mittenwald greifen, um dies mangelnde oder rückwärtige Gefälle des präglazialen Talbodens zur Zeit des interglazialen Sees verständlich zu machen und hätten zu schließen, daß dessen Existenz nicht bloß geknüpft war an glaziale Vertiefung, sondern auch an das Rücksinken des übertiefen Tales.

Die Annahme eines derartigen Einsinkens eines Alpentales hat AMPFERER herangezogen, um die mächtige Verschüttung des Inntales zu erklären. Auch wir können die Talgeschichte des Isartales, deren einzelne Phasen wir kennengelernt haben, durch die Annahme einer Einbiegung, der dann eine entsprechende Aufbiegung folgte, erklären: Jene verursachte die interglaziale Seebildung, der die interglaziale fluviatile Schotterauffüllung folgte, um das Gefälle des ungestörten interglazialen Talbodens wiederherzustellen. Die Ablagerungen dieser Versenkungsphase wurden dann in der späteren Erhebungsphase teils durch Flüsse, teils durch Gletscher bis auf die Reste entfernt, die wir benutzt haben, um die Geschichte zu entziffern. So befriedigend die Annahme einer solchen Schwingung den Gesamtkreis der Erscheinungen, die wir kennengelernt haben, zu erklären vermag, so erscheint sie doch noch nicht nach jeder

Hinsicht sicher begründet. Die Gefällsverhältnisse des präglazialen Talbodens bieten manche Unregelmäßigkeit, die entweder auf nachträgliche Zerstörungen oder auf Dislokationen zurückzuführen sind. Nehmen wir an, daß die letzteren die maßgebende Rolle gespielt hätten, so wäre wohl denkbar, daß sie den präglazialen Talboden verbogen hatten, längst bevor die Seebildung infolge glazialer Vertiefung erfolgte. Damit aber wäre nicht nur der Annahme des Rücksinkens für die interglaziale Seebildung die Stütze entzogen, sondern auch die sich gebotene Ursache für die interglaziale Verschüttung beseitigt, und wir müßten diese anderweitig erklären. An Möglichkeiten fehlt es nicht. Ist es einerseits klar, daß die Flüsse dann, wenn ihr Quellgebiet durch eine Klimaänderung in rauhere Zonen gerückt wird, sich mit Schotter überlasten, den sie weiter talabwärts wieder fallen lassen, so wird letzteres auch dann geschehen, wenn sie in ein trockenes Klima fließen und ihre Wasserkraft wegen Wasserabnahme sich mindert oder erlischt. Die erstere Erklärungsmöglichkeit habe ich vor Jahren aufgestellt¹, und W. SOERGEL² ist auf sie kürzlich zurückgekommen, um die eiszeitliche Aufschotterung der Täler Thüringens zu erklären. Sie ist für unsern Fall nicht anwendbar; denn es handelt sich um eine interglaziale Erscheinung. Letztere kann hingegen durch die zweite Annahme erklärt werden. Ein interglaziales Klima mit aridem Anstrich würde uns die mächtige Verschüttung des Isargebietes verständlich machen können, ohne daß wir zur Annahme eines vorherigen Einsinkens zu greifen hätten. Aber wir haben im Isargebiet keinen Anhalt, um auf das Klima der letzten Interglazialzeit, namentlich während der Zeit der Talverschüttung, zu schließen. Auch unser zweiter Erklärungsversuch entbehrt einer sicheren Stütze. Es bedarf weiterer Untersuchungen, um die Talgeschichte des Isartales restlos zu erklären.

¹ Über Periodizität der Thalbildung. Verhandl. Gesellsch. f. Erdkunde, Berlin 1884, S. 39.

² Die Ursachen der diluvialen Aufschotterung und Erosion, 1921, S. 45.