

## Die „Verschüttung“ unserer Alpentäler.

Von Vincenz Pollack.

Das eingehendste Studium unserer Alpentäler in der Natur und auf Grund von Sonderarbeiten der gesamten, nicht bloß technischen Literatur wird immer wichtiger, einerseits um technische Bauwerke an die beste Baustelle setzen zu können, andererseits um überhaupt schon im vorhinein ein begründetes Urteil über die Möglichkeit und Richtigkeit eines Bauwerkes bis in alle Einzelheiten und seine Anpassung an die Natur gewinnen zu können. Die Erdformenkunde oder Geomorphologie handelt vom Aussehen, Werden und Vergehen der heutigen Erdoberfläche. Ihre Grundlage bildet die Geologie und ein Teil der Bodenkunde nebst den verwandten Hilfswissenschaften, zu denen sie in vielerlei Beziehungen steht. Gewisse Einzelfragen der Morphologie haben trotz der Jugendlichkeit dieser Wissenschaft und der eben berührten und noch wenig ausgebauten Beziehungen zu Chemie, Physik, Technologie usw. doch schon Ergebnisse gezeitigt, die als große Wohltaten für die Technik zu empfinden sind. Es steht gewiß nicht außer Frage, daß heute noch weite Teile des Landes weder topographisch noch geologisch hinsichtlich der Oberflächenformen nach Aussehen, Entstehen und Inhalt auch nur annähernd festgelegt sind. Immerhin aber sind allenthalben richtig beobachtete und erklärende Einzeluntersuchungen vorhanden, wo für einen gegebenen Fall durch zutreffende Verbindung und Bearbeitung unter Zugabe eigener sorgfältiger Untersuchungen erfreuliche Ergebnisse zu gewinnen sind, die gemeinwirtschaftliche Vorteile möglich machen, wenn sie rechtzeitig, also vor einer Bauherstellung, zur Durchführung gelangen. Verfasser hat während seiner langjährigen vielartigen Beschäftigung im In- und Auslande vielfach seine Erholungszeiten tagsüber zu Geländestudien zunächst seines sehr wechselnden Wohnortes, aber auch in größerer Entfernung, abends, besonders an den langen Winterabenden, zu Literatureinsicht, Exzerpierungen aus angeschafften oder aus Bibliotheken entliehenen Werken, ferners Versuchen u. dgl. verwendet und war dann sehr häufig in der Lage, reichlich Nutzen für die Sache, die ihm anvertraut war, durch tunlichst vollständige Gelände- und Untergrundkenntnisse zu verbreiten. War früher das notwendige geistige und beobachtende Rüst- und Hilfszeug zu solchen Arbeiten nur mühselig zu erwerben, so ist dies heute, wo es bereits nicht nur mehrere sehr gute Lehrbücher, sondern viele Sonderarbeiten und eine reiche Bibliographie gibt, bei Lust und Liebe für die Natur sehr leicht zu erreichen und wird jedem, der sich einmal damit beschäftigt hat, nicht nur eine nie versiegende Quelle neuer Erkenntnisse, sondern nebenbei auch mit neuen Augen wirklich geisterfrischende Erholung bieten, die ihn weit über den Alltag hinaushebt<sup>1)</sup>. Die frühere, bloß formale (beschreibende) „Terrainlehre“ hat der auch technisch wichtigen erklärenden (genetischen) Raum gemacht und sind heute alle die aus noch z. T. fraglichen Grundformen oder Ausgangsformen entstehenden Folgeformen, z. B. Gebirge, Berge, Hügel, Täler, Ebenen usw., mit mehr oder weniger Sicherheit als Ergebnisse gewisser einzelner oder mehrerer Kraftwirkungen anzusehen und ist diesen Kraftwirkungen nachzuspüren, um die sichtbaren Formen durchdringen zu können.

Die Talbildungslehre kam erst in der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts in besseren Schwung; die

<sup>1)</sup> Ein sehr erfreulicher Beweis verständnisinniger Auffassung kam dem Verfasser dieser Tage vom Staatsgymnasium Landskron (43. u. 44. Jahresbericht) von Dr. A. Fröhlich, „Geologische Schülerausflüge in der Umgebung“ 1916 mit vielen einschlägigen, sehr lehrreichen Freihandskizzen über geologische und morphologische Beobachtungen in dankenswerter Weise zu. In der Vorbemerkung steht: „Der Unterricht wird bleibenden Wert nur dann zeitigen können, wenn der Schüler aus der Natur selbst lernt; der Wert ist ein doppelter, ein formaler und realer; ein formaler, indem der Schüler in der Natur (und sonst) beobachtet und sich gewöhnt, auch auf die unscheinbarsten Dinge zu achten, ein realer, indem er für geologische Vorgänge und die dabei wirksamen Kräfte ein allgemeines Verständnis gewinnt.“ Verfasser wird für ähnliche Sendungen dankbar sein.

mannigfachen Formen und Einteilungsmöglichkeiten bleiben hier ganz außer Betracht und sei nur die fast allgemeine ehemalige sogenannte fluvioglaziale und lakustre „Verschüttung“ eines bestehenden Alpentales, was also vergletschert gewesen (nach Penck-Brückner u. a. viermal, nach Ampferer u. a. in geringerer Zahl), etwas näher behandelt. Gegenden, wo mehr Schnee fällt, als wegschmelzen kann, gehören dem nivalen Klima an. Aus dem angehäuften Schnee wird allmählich Eis, das als Gletscher ähnlich den Flüssen abwärts fließt. Ursache ihrer Plastizität und Beweglichkeit nebst Art der Bewegung sind noch nicht völlig einwurfsfrei festgestellt. Doch geben sie ihrer Mächtigkeit und Schreitgeschwindigkeit entsprechend eine lebendige Kraft. Die Gletscher bewirken glaziale Erosion, Gletscherschurf (Exaration) oder Ausnagung, Verfrachtung und Ablagerung. Die engere glaziale Erosion umfaßt die Arbeit des gleitenden Eises selbst, also das Abscheuern feiner Teilchen und Losreißen kleiner oder großer Trümmer des Gletscherbettes sowie das Verschleifen subglazialen Schuttes. Im weiteren Sinne sind dann noch andere Vorgänge hinzuzurechnen, also Gesteinslockerung und Zerstörung am Gletscherboden durch Gefrieren und Tauen, hervorgebracht auch durch Druckschwankungen ohne Temperaturänderungen, durch Erosion der subglazialen Wasserläufe, Verwitterung der aus dem Gletscher ragenden Gebirgsteile usw. An den heutigen Gletschern sind alle diese Wirkungen zu sehen. Die Verfrachtungen der Gletscher geben die Moränen, u. zw. bewegte und abgelagerte, letztere sind Rand-, Endmoränen sowie Grundmoränen. Außer dem Gletscher schütten auch dessen Schmelzwässer auf, insbesondere Schotterflächen am Außenrand der Moränen. Der vom Gletscher aufgearbeitete und mitgebrachte Detritus wird also am Rande oder unter demselben als Endmoräne abgelagert. Deren Größe ist abhängig von der Verführungsmenge, der Dauer der betreffenden Glazialzeit und der Beständigkeit des Gletscherendes. Bei allfälligem Gletschervorrücken wird die hügelige Moräne mehr oder minder wieder abgeseuert und neu aufgebaut, bei Rückgang eine neue Moräne talwärts der ersten aufgeworfen. Die aus einem oder mehreren Toren austretenden Gletscherwässer sind mit den Gesteinsmaterialien versehen, die sie im Tale und in der Vorlandebene ablagern; die gröberen in der Nähe der Endmoräne, die feineren Kiese und Sande an entsprechender Stelle. Beim Rückzug des Gletschers wird der von den Endmoränen eingeschlossene ausgehöhlte präglaziale Talboden (Zungenbecken) mit Wasser erfüllt, an dessen oberem Ende Delta- bildung beginnt. Der Gletscherfluß wird die Moräne durchschneiden und der abgetragene Schutt wird talwärts die Aufschüttung zeitweilig fortsetzen. Ampferer<sup>2)</sup> ist geneigt anzunehmen, daß die Schmelzwässer z. T. unterirdisch ihren Ausweg durch die Moränenzone nehmen, und scheint ihm auch die Endmoränenzone kein Durchzugs-, sondern ein fein entwickeltes Abschlußgebiet; auch sei die Masse einer Schotterdecke durchschnittlich größer als die der angeblich zu ihr zählenden Endmoräne. V. Hilber erklärt die Flußaufschüttungen entweder als prä-, inter- oder postglazial. Auch hat Ampferer die Schotterdecken meistens unter der Endmoräne hindurchgezogen gefunden und festgestellt, daß sie im Zungenbecken meistens wegerodiert sind. Penck und Brückner<sup>3)</sup> vertreten die Ansicht, daß ein feuchteres, kühleres Klima die Gletscher in die Täler und ins Vorland schickt, wobei Moränen und riesige Schottermengen zur Ablagerung kommen; wärmeres Klima erzwingt den Rückzug des Eises und die Interglazialzeiten bedingen lebhaftere Erosion. Hingegen verläuft nach Hilber der Vorgang umgekehrt. In den Interglazialzeiten erfolgen bei geringen Niederschlägen die Aufschüttungen, während die niederschlagsreichen Eiszeiten starke Erosionen geben. Über die Wirkung verschiedener Wasserführung hat Ampferer fol-

<sup>2)</sup> „Über einige Grundfragen der Glazialgeologie.“ „Verh. d. k. k. geol. R.-A.“ 1912, S. 238 ff.

<sup>3)</sup> „Die Alpen im Eiszeitalter.“

gende Erhebungen durchgeführt. Die fluvioglaziale Verschüttung schreitet bei geringer Wasserführung von den Gebirgshängen, von den Seitentälern zu den Haupttälern vor. Der Schutt erscheint schlecht gerollt, schlecht sortiert, wenig gemengt, arm an feinem Sand und Bändertonen; die Trockenschuttkegel haben steile Schüttung, die einzelnen Schutthänge und -kegel bleiben voneinander unabhängig, so daß keinerlei durchgreifendes Niveau geschaffen wird; ferner zeigt sich Schutzzusammensetzung und Gesteinsart der Umgebung gleich. Reiche Wasserführung hat den Schutt gut gerollt und geschichtet, mit Sandlagen und Bändertonen versehen, nach Härte und Zähigkeit ausgelesen. Die überwiegende Schuttführung der Haupttäler dringt in die Seitentäler weit ein und ist gute Niveauübereinstimmung zu ersehen. Aus dem Studium der Inntalterrassen und der Gehängbreccien (Hötting)<sup>4)</sup> ist A m p f e r e r zur Überzeugung gekommen, daß dort bei gleichmäßiger Aufschüttung reiche Wassermengen tätig waren. Außerdem läßt die bedeutende Mächtigkeit alpiner Terrassen, und Schotter auf Abladungen bei starker Wasserführung in ausgedehnten tektonisch belebten Gesenken schließen. A m p f e r e r hat in den Ostalpen nur 2 Schotterdecken (nicht 4) gefunden, eine ältere feste Nagelfluh und eine jüngere nur wenig oder nicht ver kittete, jede durch Erosion gestaffelt. Hiezu kämen dann noch unbedeutende postglaziale Aufschüttungen mancher Strecken. Von vornherein ist ja eine Aufschüttung in mehreren Rucken bis zu dem Höchststand wahrscheinlich und dann ruckweise Erosion mit gestufter Abtragung. Auch Wandern von Aufschüttungen kann vorkommen: z. B. wird bei einer Senkung im Gebirge sich in den Tälern eine Aufschüttung bilden; rückt dann die Senkung nach außen, während innen Hebung eintritt, so wird die Aufschüttungsmasse talab getragen und dort neu aufgeschüttet.

Terrassen in Tälern sind auf verschiedene Weise möglich. Werden zuerst jene im anstehenden Gestein besprochen, so wird jeder Schichtwechsel zwischen weicheren und härteren Gesteinen an den Talhängen Verwitterungsstufen bilden können, wobei je nach Lagerung der Schichten entweder die steilstehende Schichtfläche die Stufe gibt (z. B. Brazer Halde, Vorarlberg) oder eine Kluftfläche. Vertikal klüftende Kalke, Dolomite und Sandsteine geben solche Terrassen nach Absonderungsfächen. Die steil stehenden (70 bis 60° Süd fallenden) Gneise am Arlberg bei Klösterle, ob St. Christof usw. haben sich im Streichen oft auf viele m bis 100 m Länge talab (gegen Nord) mehr oder weniger geneigt: der nördlich anstehende Stoß, somit das Liegende der Kluft, ist festes quarzreiches Gestein; glimmerreicher Gneis bildet das Klufthängende, der Glimmer zeigt zusammenhängende Häute, längs welchen nur geringe Kohärenz herrscht und die Trennung nach mächtigen Platten ermöglicht, die Terrassen mit vorgelegtem wallartigem Rande geben. Bleibt die talab gedrehte Schicht beiderseitig dem Streichen nach mit dem anschließenden Gestein fest verbunden, so kann sich u. a. ein kleiner See bilden, schließt die Terrasse nur einseitig an, so entsteht eine Art „Rinne“. Einfaches „Überbrechen“ der Schichtköpfe (dem Hakenwerfen verwandt) ist ihre Ursache.

Bei Gebieten mit von der Wagrechten nicht zu sehr abweichender Lagerung wird jede gegen Erosion widerstandsfähige Schicht zwischen weniger widerstandsfähigen eine Bank geben, welche den Talseiten folgt.

Wiederauflebung fluviatiler Erosion durch eine tektonische Hebung wird den Fluß veranlassen, in seinen früheren Talboden tiefer einzuschneiden, welcher dann durch gewisse Zeiten als Terrasse über dem neuen Talboden verbleibt. Seitliches Hin- und Herwandern eines Flusses kann in den Nebentälern kleine Terrassen zur Ausbildung bringen.

Jede Änderung im Wirkungsbereich eines ausgeglichenen Flusses wird ein neues Gleichgewichtsprofil hervorbringen, sei es

nun eine Änderung in der Wasserführung, in der Schuttführung oder in beiden; bewirkt nun ein derartiger Wechsel die Aufschüttung des Tales, so kann dann wieder später durch teilweise Abfuhr der Aufschüttung ein Terrassenaufbau verbleiben. Die eine Vergletscherung verursachende und wieder zum Schwinden bringende Klimaschwankung genügt, um die Verschüttung und Wiedereinschneidung eines Tales durch seinen Wasserlauf, also um solche Terrassen zu bilden, u. zw. nicht nur im unteren Tallauf, wo oben zeitweilig Gletscherbildung eintrat, sondern auch in angrenzenden, allenfalls nicht vergletschert gewesenen Tälern. Das Wachsen eiszeitlicher Gletscher hat nach P e n c k seine Ursache nicht in einer vermehrten Speisung, sondern in verringerter Abschmelzung, nicht in Verschiedenheit der Niederschlagsmenge, sondern nur in der Temperatur im Vergleich mit heutigen Verhältnissen. Eine zur Vergletscherung eines Gebirges hinreichende Klimaänderung wird die Verteilung des Pflanzenwuchses und die Tätigkeit des sogenannten Gekrieche oder des Abrückens der Witterstoffe in einer Nachbargruppe von geringer Höhe ebenso beeinflussen wie die Flußwasserstände und können daher auch nicht vergletscherte Täler in einem Zeitabschnitt aufgeschüttet und im anderen wieder ausgeräumt werden, ohne daß hiezu eine Niveauschwankung des Gebietes auftreten muß. Talverschüttungen und nachfolgende Terrassenbildungen können noch Rutschungen und Bergstürze von den Talhängen, durch Aufbau von Schutt- oder Schwemmkegeln seitlich einmündender Bäche und Flüsse u. dgl., kurz „Talverbauung“ nach sich ziehen, indem im Haupttal der Fluß gestaut und zur Ablagerung seiner Sinkstoffe gezwungen wird und erst nach Durchnagung des Sperriegels allmählich tiefer sinkend die Terrassen an den Hängen zurückläßt. Das Gleichgewicht mehrerer Faktoren bei einem ausgeglichenen Flusse ist sehr empfindlich, so daß z. B.

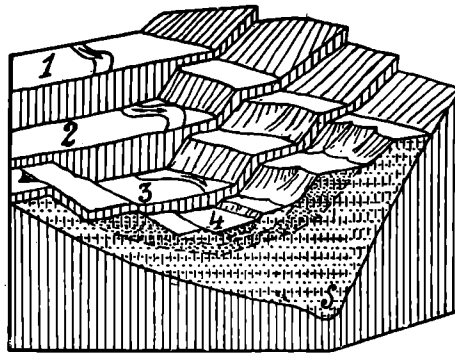


Abb. 1. Aufeinanderfolgende Stadien in der Entwicklung von Terrassen.

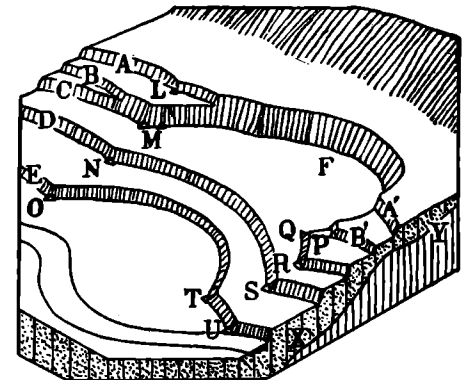


Abb. 2. Terrassen mit geschützten Spitzen.

W. M. D a v i s<sup>5)</sup> berechnet, daß für eine Gefällsänderung von nur einer Minute eine Aufschüttung von 30 m im oberen Teil eines Flußlaufes von 100 km Länge sich ergibt.

Die aufeinanderfolgenden Entwicklungsstadien von Terrassen in aufgeschütteten Tälern sei an Hand zweier zum Teil geänderter Reliefzeichnungen (Blockdiagramme) von W. M. D a v i s - A. R ü h l näher erörtert, wovon in Abb. 1 ein mehr regelmäßiger und Abb. 2 ein hievon abweichender Fall behandelt sein soll. Jedemal, wenn nach der ideellen Vollsättung 1 (Abb. 1) der Fluß beim Tiefererschneiden in einer tieferen Lage nach den einzelnen Seiten sich hinbewegt, unterschneidet er die Talaufschüttungen in einer gegen vorher tieferen Lage und werden von ihm die angegriffenen abrollenden oder abgespülten Massen weiter verfrachtet. Nimmt die Größe der Schwingungen ab, so wird jede Schwingung einer Terrasse entsprechen, etwa wie 1, 2, 3 und 4 in Abb. 1 andeuten.

Ist ein späterer Schwingungsaussschlag von größerem Ausmaß, d. h. wird gegen früher eine größere Erweiterung angestrebt, dann zerstört sie frühere Stufen und bildet derartig die Ausarbeitung der breiten terrassierten Fläche F (Abb. 2), die einen Teil der früheren Stufen A und B vernichtet, wobei die Böschung hinter F die Höhe der früheren Stufen A, B und C erreicht. Die beiden Talseiten brauchen hinsichtlich der Terrassenzahl, Breite und Höhe

<sup>4)</sup> „Jahrb. d. k. k. geol. R.-A.“ 1907.

<sup>5)</sup> „Erklärende Beschreibung der Landformen.“ 1912.

nicht übereinzustimmen. Nicht selten zeigen sich Terrassen in Gruppen wie Treppenstufen und so geordnet, daß die Breite des Talbodens 4 (Abb. 1) der zwischen den niedrigeren Gliedern einer Gruppe erodiert erscheint, geringer als der Talboden 2 zwischen höheren Gliedern ist, was zur Meinung geführt hat, daß der Fluß während der Terrassenbildung an Wassermasse verloren hat; doch haben die treppenartigen Terrassengruppen zu anderen Erklärungen geführt. Die mächtigen Schottermassen einer ersten Vergletscherung können tief und breit ausgehöhlt, aber doch nicht vollständig ausgeräumt sein, so daß Überreste hiervon als hohe Stufen einfacher Gestalt verbleiben. In einer darauffolgenden zweiten Glazialepoche wird das eingeschnittene Tal mäßiger als früher aufgefüllt und diese Ablagerungen werden bei Wiederkehr normaler Verhältnisse z. T. wieder abgetragen usw., wobei anzunehmen ist, daß die Schotterauflagerungen der aufeinanderfolgenden Glazialperioden immer geringere Höhe erreichen, die Erosion eine geminderte Breite einhält. Solche Terrassen werden regelmäßig stufenförmig erscheinen und an beiden Talhängen nach Zahl und Höhe ziemlich übereinstimmen, doch sind die oberen Terrassen viel älter und naturgemäß stärker zerschnitten als die unteren. Dort, wo etwa ein Seitenfluß einen Aufschluß gibt, ist die Ungleichartigkeit der verschiedenen Ablagerungen zu sehen (vgl. Abb. 1 am vorderen Teil).

Eine andere Erklärungsart sieht eine einzige Schotterablagerung als Ergebnis einer einzigen klimatischen Schwankung an. Je tiefer der Fluß sein neues Tal in die Schotter einsenkt, desto mehr werden auch die Seitenzuflüsse sich tiefer einschneiden, um so größer wird die Detritusmenge für den Hauptfluß. Deshalb kann der Fluß durch seine eigene Seitenerosion nicht so viel Schutt aufnehmen und nicht so kräftig seitlich erodieren als vorher, weshalb die unteren Stufen auf jeder Seite näher aneinander zu liegen kommen als die oberen.

Nach einer dritten Meinung wird ein Fluß, je tiefer er sich in eine aufgeschüttete Ebene einfrucht, in einem um so kleineren Abstand schwingen, bevor er auf den darunter liegenden Felshang  $X Y$  (Abb. 2) gerät, wobei, selbst wenn dieses Auftreffen bei  $M Q$  oder  $N S$  oder  $O T$  an 1 bis 2 km voneinander entfernten Punkten stattfindet, sich daselbst das seitliche Ausbiegen des Flusses derart verringern wird, daß die daraus entstehenden Terrassen treppenförmige Anordnung erhalten. Indem der Fluß durch die getroffenen Felsleisten  $N S$  in seiner seitlichen Erweiterung zu arbeiten verhindert wird, sind derartige Leisten als Schutz darüberliegender Stufen zu werten. Abb. 2 ist ein Beispiel aus der Natur, wo der Fluß bei häufigen Felsleisten mit zahlreichen Stufen  $A$  bis  $E$  oder  $A'$  bis  $T$  versehen ist, aber dort, wo die Felspunkte fehlen, hat sich ein breites Tal entwickelt, indem hier die höheren Stufen zerstört wurden und vom höchsten Niveau der früheren Aufschüttung bis zur heutigen Flutebene nur eine Stufe geblieben ist. Hier scheint die dritte Erklärungsweise am besten zu passen, welche aber nicht bedingt, daß jede Stufe durch eine Leiste festgelegt wird, denn einige, wie z. B.  $B$  (Abb. 2), werden wegen der unregelmäßigen Seitenschwingungen des Flusses der Zerstörung nicht anheimfallen. Wenn aber 6 und mehr Terrassen übereinander zum Ausdruck kommen, ist eine Erklärung ohne schützende Leisten kaum tunlich. Die Terrassenböschungen zeigen gegen den Fluß fast immer konkave Bögen, da sie ja durch das wiederholte seitliche Schwingen konvexer Flußmäander gebildet werden. Nachdem die Mäander bestrebt sind, langsam talwärts zu wandern, so wird ein solcher, auf Gestein bei  $Q, R, S, T, U$  (Abb. 2) treffend, daran gehindert. Wird später unterhalb der Leiste die Talflur erweitert, so bilden dann 2 benachbarte konkave Stufen eine Spitze. Vereinigen sich übereinanderliegende konkave Terrassenstufen in gruppenweise gelegenen Spitzen, wie  $L-O$  oder  $P-U$  (Abb. 2), so spricht dies für die Wahrscheinlichkeit schützender Leisten an den meisten Spitzen und kann gegebenenfalls von besonderer technischer Bedeutung werden.

Ist im vorstehenden schematisch angedeutet, wie sich im Verschüttungsgebiet die Nähe von Fels oder wenigstens großen Blöcken ankündigt, wobei derselbe natürlich auch zu Konglomerat verkitteter Schotter sein kann, so ist die Möglichkeit nicht außer acht zu lassen, daß bei der Aufschüttung an geschützten ruhigen Stellen auch die feinsten Schlammteilchen (Tegel), unter Umständen

auch Vegetabilien (Torf z. B.), zur Ablagerung gelangen können, wie zahlreiche Fundamente an den Flüssen und Bächen erwiesen haben. Zu diesen ehemals ruhigen Stellen zählen die „übertieften“ Trog- und Zungenbecken, Bergsturz-, Schuttkegel- und Schutthalden-Sperrstellen, ehemalige Moore und Seen, Gletscherstauungen, Rückzugmoränen usw. Da die größeren Alpentäler vom Eise stark (bis zu mehreren hundert m!) übertieft worden sein sollen, so ist dieser Möglichkeit, bezw. den Folgerungen daraus, besondere Aufmerksamkeit zu schenken. Zugleich sind aber immer nicht zu vergessen und wurden bisher, da insbesondere die fluviatile Aufschüttung zur Vorführung gelangte, noch 2 wichtige Punkte nicht gewürdigt: 1. Wie tief reicht noch die Aufschüttung unter der heutigen Flußsohle? und 2. ist im vergletschert gewesenen Gebiet noch unter der Aufschüttung eine Grundmoräne zu erwarten?

An Hand der Wiedergabe von einigem aus der so zerstreuten Literatur über diesen Gegenstand und der Einfügung eigener Beobachtungen und Theorien ergibt sich etwa Folgendes: Um einen beiläufigen Einblick in die Größenordnung der Zeiträume hinsichtlich der Dauer des gesamten Eiszeitalters, bestehend aus der jüngsten (letzten) Würm-, dann Riß-, Mindel- und der ältesten Günz-Eiszeit (für mindestens den Fuß der Alpen) und den Interglazialzeiten (Riß-Würm, Mindel-Riß und Günz-Mindel), zu geben, ist man ganz auf Schätzungen verwiesen, die jeweils von der heute unter unseren Augen in einem bestimmten Zeitraum geleisteten geologischen Arbeit ausgehen. Die größte Unsicherheit steckt in der noch unbekanntten Dauer der Würmeiszeit. *P e n c k* bestimmt annähernd für die zu verwendende Maßeinheit, d. i. die Post-Würmzeit, mindestens 20.000 Jahre; wird die Riß-Würm-Interglazialzeit auf 3, die Mindel-Riß-Interglazialzeit auf 12 Einheiten geschätzt, so ist für erstere mindestens 60.000, letztere auf 240.000 Jahre zu veranschlagen. Die große Mächtigkeit der quartären Ablagerungen in der Poebene läßt auf eine Abtragung während des Eiszeitalters im alpinen Einzugsgebiete von erheblich mehr als 100 m schließen<sup>6)</sup>. Die Hochgebirgsflüsse Kander und Reuß brauchen zur Abtragung ihres Einzugsgebietes um 1 m etwa 3000 bis 4000 Jahre. Sonach schätzt sich die ganze Eiszeit auf mehrere hunderttausend Jahre, die Interglazialzeiten (Schotterführung!) auf 300.000 bis 400.000 Jahre. Diese Größen geben einen Einblick in die gewaltigen Moränen- und Schotter-Mengen, die in den Alpentälern zur Förderung gelangten. Die Eisoberfläche in den einzelnen Tälern scheint ziemlich ermittelt. Über die noch reichlich auf den H ä n g e n der einzelnen Alpentäler erhaltenen Reste der älteren und jüngeren Moränen, mögen sie als Wälle oder Terrassen oder nur in Spuren sich zeigen (so sind z. B. nach *A. v. B ö h m*, „Die alten Gletscher d. Enns und Steyer.“ „Jahrb. d. geol. R.-A.“ 1885, S. 497, selbst an den Felswänden des Gesäuses Reste von Konglomeratbänken erhalten, manchmal ganze Terrassenteile, wie oberhalb Gstatterboden), haben *P e n c k - B r ü c k n e r*<sup>7)</sup> u. a. viele Angaben gemacht. Naturgemäß geht aus der ganzen Entwicklungsgeschichte der einzelnen Täler auch die Wechsellagerung von Moränen und den Umschwemmungsprodukten (Hochterrassen- und Niederterrassen-Schotter und -Konglomerate, dann bei erschwertem Abfluß der Schmelzwässer schottrige Moränen, Grundmoränen und Bändertone) hervor. Das ober *S. Lucia* und *Robic* liegende breite Talstück entspricht dem „übertieften“<sup>8)</sup> Zungenbecken des Isonzogletschers.

<sup>6)</sup> Einen sehr guten Aufschluß ergab der Gatticotunnel quer durch die Endmoränen des Tessingletschers südlich Arona: zu oberst Würmmoräne, darunter „Feretto“ (alte Moräne), zusammen über 100 m mächtig, z. T. völlig flüssig, so daß der Tunnel auf der Arona-seite in der jüngsten Moräne pneumatisch ausgebaut werden mußte.

<sup>7)</sup> „Die Alpen im Eiszeitalter.“

<sup>8)</sup> Die Gletschererosion wird darauf hinarbeiten, die günstigste Querprofilform für seine Bewegung zu erreichen, die Halbkreis- oder U-form, und gilt dies Gesetz des Querschnittes auch bei Seiteneinmündungen, wo also die Eismasse sich vergrößert; die Bewegung wird schneller, die Schürfung stärker, daher eine Trogvertiefung an der Vereinigungsstelle eintreten, bis Gleichgewicht zwischen Eismasse und Bettquerschnitt erreicht ist. Die größere Eismasse im tieferen Tal trog rückt mit gleicher Schnelligkeit wie die sich vereinigenden Gletscher weiter und die fernere „Übertiefung“ des Haupttales unter das Nebental ist beendet. Starke Übertiefungen werden den Zungenbecken (vor den Endmoränen) zugeschrieben und sind die alpinen Randseen durch sie charakterisiert.

Seine heutige hoch aufgeschüttete Sohle liegt bei Karfreit 200 m, bei Tolmein 140 m unter dem präglazialen Talboden; nirgends liegt an der Sohle des Beckens Fels zutage, überall ist sie mit Ablagerungen verschüttet, wobei Moränen zurücktreten, doch finden sich solche in den Häuserfundamenten von Robic; die hochgelegenen Konglomerate werden teilweise von Moränen überlagert, die tiefgelegenen lagern aber auf Moränen und lassen ihr postglaziales Alter aus der flachen ebenen Oberfläche erkennen. Die zahlreichen Terrassen am Isonzo zwischen Karfreit und S. Lucia sind nicht in ein System bringbar: viele sind Erosionsterrassen im Schotter, andere See-terrassen im alten See von Tolmein, der durch die Endmoränen von S. Lucia gestaut war. Beim Tobel des Triglav vrh ist Moräne mit Wildbachschutt vermengt. Am Arlberg hat der Verfasser in den Aushüben die Moränentone wiederholt beobachtet und z. T. dargestellt<sup>9)</sup>. Der auf dem gelben Verwitterungslehm in der Hangneigung lagernde „blaue Letten“, der zu Bewegungen Anlaß gab, und andere Vorkommnisse sind dort unter „Geologische Trassierung“ behandelt. Bei Pians, am Schmiedbach, beim Masontunnel (Rundhöcker) usw. haben sich die Moränenletten gezeigt und bedingten besondere Bauvorkehrungen.

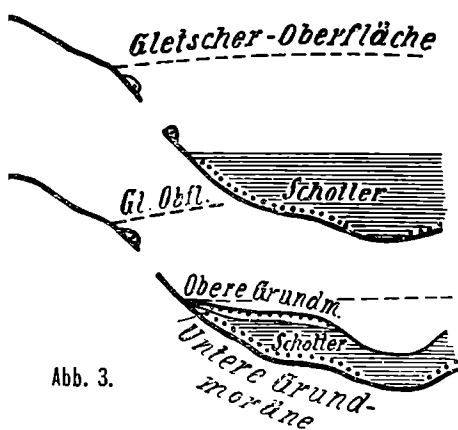


Abb. 3.

Im Inntale von Imst abwärts findet sich nach Am p f e r e r an mehreren Stellen die unter den Terrassensedimenten liegende ältere Grundmoräne in tiefer Lage nahe dem heutigen Innspiegel. Darüber lagern bei 300 m mächtige Lehme, Sande, Schotter und auf diesen die hangende Grundmoräne, woraus hervorgeht, daß das Tal bereits zur Zeit der ersten Vergletscherung nahe gleich tief oder tiefer war wie heute und daß die zweite Vergletscherung nicht imstande war, die Schotter völlig auszuräumen, wobei ihr doch die Wassererosion vor ihrem Vorrücken als nach ihrem Rückzug wesentlich beistand. Diesen in vielen Alpentälern erscheinenden Typus gibt schematisch Abb. 3. Profil oben zeigt die Talform mit Resten älterer Vergletscherung und den Sedimenten interglazialer Aufschüttung. Profil unten: Nach dem Rückzug der jüngeren Vergletscherung sind unter der Hangendmoräne noch große Massen der Aufschüttung und der Liegendmoräne erhalten. Somit hat die jüngste Vergletscherung nicht die vorgegangene Verschüttung bis ins Niveau der älteren Grundmoränen, geschweige tiefer, auszuarbeiten vermocht.

Daß die Wassererosion in den aufgeschütteten Alpentälern vielfach den ursprünglichen Felsgrund in den Flüssen nicht erreicht hat, läßt sich am besten durch Beispiele aus der Baupraxis bei Fundierungen von Brücken, Wehren und Talsperren erhärten und seien einige solche, darunter auch bekanntere, angeführt. M. Singer hat 2 Fälle hervorgehoben. Bei Reichenhall war ein Stauwerk für ein größeres Elektrizitätswerk im Flusse anzulegen. Die Verschotterung war so arg, daß eine gewöhnliche Fundierung nicht angewendet werden konnte, sondern es mußte eine besonders tiefgehende Luftdruckgründung mittels Eisenkasten und Kammern ausgeführt werden. Bei Golling sollte für eine ähnliche Wehranlage in der dortigen, von vertikalen Wänden wenige m breiten Salzachklamm („Öfen“) die Fundierung vorgenommen werden. Die Aufschlüsse zeigten aber, daß die Wände weiter senkrecht weit in die Tiefe gehen, weshalb auf die Anlage verzichtet wurde. Beim Austritt des oberen Klammuntunnels auf der Tauernbahn nächst Klammstein im ebenen Talboden war eine Brücke über die Gasteiner Ache knapp vor den Kalken des Tunnels zu fundieren: statt festem tragfähigem (Fels-) Grund wurden weiche Tegelschichten angefahren,

die eine künstliche Verdichtung notwendig machten. Die Fundierung der bekannten gewölbten Brücke bei Salcano<sup>10)</sup> über den Isonzo (85 m Weite) beim Austritt desselben in die Görzer Ebene stieß statt auf den erhofften Kalkfels, der daselbst in einem großen Block anstand, auf verkitteten Terrassenschotter, darunter Schutt und Tegel. Auf der Sohle des für die Wölbung erforderlichen Mittelpfeileraushubes in Schotter von mehreren m Tiefe steht „Tonschiefer“ (?). Singer<sup>11)</sup> hat treffende Einzelheiten darüber gegeben. Weiter oben am Isonzo zunächst der Idria bei S. Lucia war eine 16 m hohe Talsperre auszuführen. Die Idria (Idrica) war durch einen alten Bergsturz in ihrem Lauf gestaut, gehoben und verschoben worden<sup>12)</sup>, hat sich nächst der Station epigenetisch in Fels eingefurcht, während die Stationsanlage über einer mit Idriaschotter erfüllten alten Idriaschlucht sich befindet. Die hohe Stopiöcher Terrasse am rechten Ufer wird von schräg geschichtetem Schotter aus umgeschwemmter Moräne des Gletschers gebildet und erscheint im Liegenden der Stationszufahrtsstraße Moräne, darunter Nagelfluh, die diskordant von der Moräne abgeschnitten ist. Dieser ältere Glazialschotter wird von Br ü c k n e r und K o s s m a t als Hochterrassenschotter<sup>13)</sup> angesehen.

Nachdem Gleitungen, Rutsche, Stürze, Strömungen, Auftriebe usw. formengestaltende Faktoren in der Ausbildung unserer Täler sind, die insbesondere in den Interglazialzeiten zu erhöhter Tätigkeit gelangen mußten, als die Gletschertätigkeit die Taltröföfüße übersteil ausbildete und nach dem Eisrückzug Verwitterung und Schwerkraftkomponente freies Spiel erhielten, so werden mannigfache Flußverdrängungen a priori anzunehmen sein. Der Übertritt der gestauten Wässer über den Sturz- oder Schuttkegel wird seitlich des alten Flußlaufes sein, so daß der neu sich bildende Flußlauf auf gewisse Strecken nicht über dem alten sich befinden wird. Das Schwingen und Schlingen des Flusses auf den hohen Interglazialverschüttungen wird auch in bezug des tief darunterliegenden ehemaligen Flußgerinnes häufig epigenetisch sein, was auch in Abb. 1, wo das alte Flußbett S im allgemeinen nicht unter dem neuen I liegt, zur Andeutung gelangte.

Nachdem die „Verschüttungen“ eine ziemlich allgemeine Erscheinung sind, so ergibt sich wohl die Notwendigkeit, gewisse angebliche „Felschwellen“ zu prüfen, ob sie wenigstens in einer mäßigen Tiefe unter der Oberfläche erreichbar sind. Es soll nur ein Beispiel versucht werden. In einer verdienstvollen Arbeit vom Kollegen L. Schleck („Die interglaziale Talverschüttung im Längstale der Enns“, 1915) heißt es nach einer Annahme A. v. Böhm's (in „Die alten Gletscher der Enns und Steyer“): „— der felsige Talboden des oberen Ennstales liegt tiefer als die Felschwelle, über welche die Enns beim Gesäuseeingang das Admonter Becken verläßt“. Verfasser kennt die Örtlichkeit durch Begehungen an beiden Ufern zum Zwecke des Studiums der Sohle der Enns ziemlich gut, hat auch bei niederem Wasserstand die aus dem Wasser z. T. hervorstehenden zahlreichen Steine beobachtet, hat aber nicht sicher beurteilen können, ob daselbst sicher autochthones Gestein ansteht. Beim Anblick der Spezialkarte 1:75.000, noch besser natürlich der topographischen Detailkarte 1:25.000, rücken beim Eingang links der Himberstein Kote 1183 m, rechts die Haindlmauer 1415 m knapp aneinander, links liegt in der Waldparzelle eine Bergsturzhalde und sticht eine kolossale, aber schmale isolierte

<sup>10)</sup> J a u s s n e r, „Gew. Brücke bei Salcano.“ Diese „Zeitschrift“ 1909.

<sup>11)</sup> „Die Bodenuntersuchung für Bauzwecke.“ 1911, S.32 u. 33.

<sup>12)</sup> K o s s m a t, „Geologie d. Wocheinertunnels“, Prof. 5 u. 6, S. 73. S i n g e r erwähnt a. a. O., daß der dortige eingleisige Bahntunnel etwa 40 m vom Nordeingang die Halde auf ungefähr 220 m Länge (bei 619 m Tunnellänge) anfuhr und Gewölbestärken von 60 bis 80 cm Stärke sowie Sohlengewölbe auf 170 m erforderte, während im anstehenden Fels (Grenze der Nagelfluh oder Konglomerate und Kreidekalke) nur Gewölbe mit 50 cm und keine Sohlengewölbe ausgeführt wurden. Im Wocheinertunnel wurde geologisch nicht vorgesehener Schutt (in einem alten Gerinne), im Löttschbergtunnel die Gasterentalüberschüttung angefahren.

<sup>13)</sup> P e n c k unterscheidet 4 Schotterniveaus: älterer und jüngerer Deckenschotter, Hoch- und Niederterrasse mit Entstehung in je einer Eiszeit.

<sup>9)</sup> V z. P o l l a c k, „Projektierung und Bau der schwierigeren Strecken der Arlbergbahn.“ „Allg. Bauztg.“ 1886, Abb. 33.

Scholle vertikal hoch über den Wald empor; die Haindlmauer hat die Enns in einem kräftigen Bogen nach links gedrückt: die beiden genannten steil felsigen, z. T. wandartigen Torpfeiler am Gesäuseeingang machen den Eindruck, durch Massenabstürze großer widerstandsfähiger Trümmer, die die Enns nicht leicht aufarbeiten kann und die an mehreren Stellen des Steilgefälles bis Hieflau im Flußbett liegen, den Fluß „verbaut“ oder abgedämmt zu haben. Auch hier ist Wahrscheinlichkeit einer epigenetischen Flußlaufverschiebung, die zur Vorsicht mahnt (vgl. Idrica bei S. Lucia), vorhanden. Insofern nicht wenigstens eine vollkommen detaillierte Sonderaufnahme aller Verhältnisse vorliegt, die das Gegenteil erweist, muß obige Anschauung der „Verbauung“ als die wahrscheinlichere gelten, um-

Eis hatte somit an dieser Stelle etwa 500 m Mächtigkeit. Bereits vor dem Eiszeitalter war das große Längstal der Enns durch die Gesäuseenge entwässert, unbeschadet des Umstandes, daß auch kleine örtliche Flußabweichungen zu verzeichnen sind, so z. B. bezeichnet der Wagsattel bei Hieflau einen alten, wenigstens 80 m hoch aufgeschütteten Lauf der Enns, der dem Erzbache zustrebte und wo die breite Hochfläche zwischen Enns und Erzbach (570 m) das letzte Vorkommen des Niederterrassenschotter vom Vorland herauf darstellt. In einem Bericht von A. K o w a t s c h über eine Exkursion 1910 wird erwähnt, daß kurz vor dem Rangierbahnhofe Hieflau die Nagelfluhbänke in dem langen Hügel zwischen Erzbach und dem Abfluß des Waggrabens sehr gut sichtbar erscheinen. Sie liegt auf einem Dachsteinkalksockel, der beidseitig des Wag-

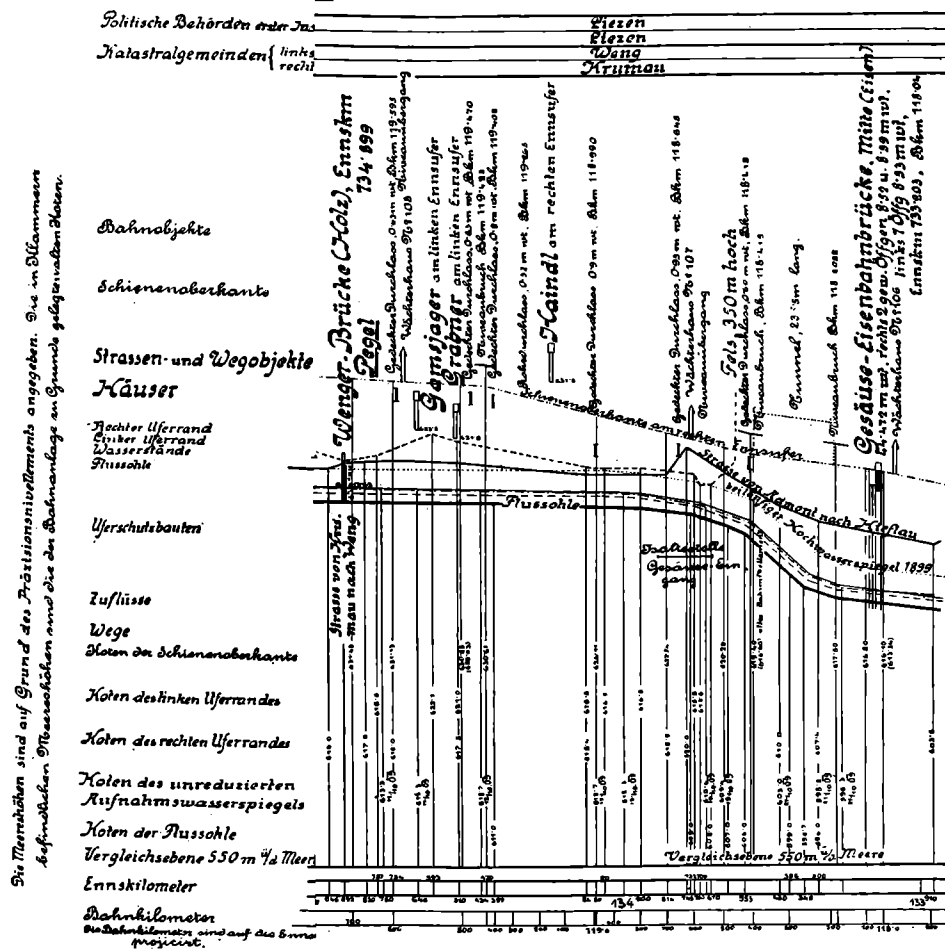


Abb. 4. Maßstab 1:25.000 für die Längen  
1:1250 für die Höhen

somehr als noch weitere Erwägungen in Betracht kommen. Im von  $\frac{1:10.000}{1:500}$  auf  $\frac{1:25.000}{1:1250}$  verkleinerten, vom Verfasser geodätisch aufgenommenen und dargestellten Längenprofilausschnitt (Abb. 4) ist die Flußsohle der Enns an der fraglichen Stelle (zwischen Bahn-Km. 118/119 oder Enns-Km. 133/134) am Gesäuseeingang genau als eine Schwelle ersichtlich. Würde das normale Gefälle des Flusses von etwa  $6\text{‰}$ , das auf der weiteren längeren Gesäusestrecke die Natur sich gebildet hat und von welchem ein Teil am rechten Ende des Längenprofils auch zu ersehen ist, auf dieser rund etwa 600 m langen Strecke von Enns-Km. 133.300 (Sohle Meereshöhe 596 m) bis Km. 133.900 ennsaufwärts verlängert, so ergibt sich dort eine Schwelle von etwa 10 bis 11 Höhen-m. Eine ähnliche Schwelle liegt an der Kummerbrücke unterhalb Gstatterboden, von wo auf etwa  $2\frac{1}{2}$  km  $14\text{‰}$ , später die Hälfte davon, als Gefälle bis Hieflau sich erstreckt. Nach P e n c k haben sich im Ennsgebiet während der ganzen Eiszeit keinerlei tektonische Störungen (Hebungen, Senkungen oder Verbiegungen) ergeben. Die Oberfläche des letzten Ennsgletschers kann bei Weng (am Gesäuseeingang) mit rund 1100 m Meereshöhe angenommen werden; das

baches austritt. Es liegt ein schönes Beispiel eines epigenetischen Tales vor, das sich der Bach schuf, nachdem er den unmittelbaren Lauf in den Erzbach verlor. In der Kripp, unterhalb Groß-Reifling, fand die Enns beim Einschneiden in die Niederterrassenschotter ihr früheres Bett nicht und hat sich in einen Sporn des Talgehanges mit wenigen m Breite eingetieft. E. de M a r t o n e<sup>14)</sup> zeigte, daß hier die Erklärung der epigenetischen Talstrecken, wonach der Fluß von vornherein bei seinem Wiedereinschneiden sein Bett festlegt, nicht auskömmlich erscheint, sondern daß er erst während der Erodierung die Richtung durch den Sporn nahm, nachdem er ihn eine gewisse Zeit umflossen hatte. P e n c k pflichtet dem bei, glaubt aber nicht, daß deshalb die Kripp kein epigenetischer Durchbruch sei: oberhalb und unterhalb von ihr gehen die Schotter bis zur Flußsohle und kann kein Zweifel herrschen, daß östlich von ihr und dem Felsbahntunnel das verschüttete, nicht wieder gefundene Tal besteht. In der Günz-Eiszeit floß die Enns am Fuße der Alpen unmittelbar zur Ybbs. Das Gesäuse hat den Charakter der Übertiefung. Die Felswände streben besonders in unteren Teilen steil auf; viele der Hochtäler beidseitig der Enns

<sup>14)</sup> „Annales de géographie“, VII, 1898, S. 387.



münden stufenförmig<sup>15</sup>). Die Bohrungen im Wörschacher und Liezener Moor haben die Übertiefung und Überbreitung des Ennstales ober dem Gesäuse ergeben<sup>16</sup>), u. zw. sind diese um so namhafter, je mehr man sich im Sinne obiger theoretischer Erörterungen jener Stelle nähert, von wo einzelne Gletscherzungen ausgingen, wo typisch entwickelte Zungenbecken (also vertiefte) zu erwarten sind. Dies ist nun tatsächlich oberhalb dem Gesäuseeingang insofern eingetreten, als dort eine Gletscherzunge über Weng und das Buchauer Satteltal über den Sattel (900 m) gegen St. Gallen auf 6·5 km von Weng vordrang, während im Gesäuse das Eis 16 km talabwärts, oberhalb Hiefiau (Hartlesgraben), seine Würm-Endmoränen aufbaute. Das Oberflächengefälle des Eises ergibt sich zu 30 bis 40<sup>0</sup>/<sub>100</sub> und kann ein solches namhaftes Eisgefälle in der Gesäuseenge erwartet werden sowie auf einem Paß, über den das Eis gerade noch gut hinwegflutete.

Es ist dem Verfasser nicht gelungen, im außerordentlich felsigen Gesäuse mit seinen himmelanstrebenden, festen, aufgerichteten und mannigfach gefalteten Kalkschichtwänden an irgend einer Stelle, auch nicht knapp an den steilen Felstrogwänden, anstehende Felsrippen in der Sohle zu sehen. P e n c k bemerkt: „Die Enns arbeitet heute nicht mehr an ihrer Vertiefung, nirgends sehen wir sie von Felsenrippen durchsetzt; wo sie über Felsen hinwegspringt<sup>17</sup>), sind es einzelne Blöcke, die in sie herabgestürzt sind und in die sie Strudellöcher eingedrehselt hat.“

Noch sei ein Beispiel einer Brückenfundierung unterhalb des Gesäuses aus einem neuen geologischen Werk gegeben. Aus den 4 Bohrungen 1915 für den Neubau der Wandauer Reichsbrücke, 2·5 km unter Hiefiau, hat sich auch das Alter der Erosionsschlucht ergeben<sup>18</sup>). Dem Kollegen K. F e d e r h o l z e r ist die Anlage der Bohrungen so zu danken, daß sie auch geologische Schlüsse ermöglichten. Unterhalb Hiefiau stehen vorwiegend gut gebankte rhätische Kalke an. Bei der Wandauer Brücke wird der Talboden 70 m breit. Die hohe Lage der Ennsnagelfluh erlaubt den Schluß, daß zur Zeit der Rißvereisung die letzte Tiefe der Ennsschlucht noch nicht auserodiert war. Die Haupterosion erfolgte erst nach der Rißvereisung; da aber die Schlucht nach den Bohrungen an einem Ufer zeigt, daß sie bis tief unter heutiger Flußsohle mit Niederterrassenschotter aufgefüllt ist, hat diese Haupterosion vor der letzten Vereisung (Würm) stattgehabt. Zur Würmeiszeit erfolgte dann eine mächtige Aufschüttung der Talfurche. Die rechtsuferigen Bohrungen stießen in 3·23 und 4·90 m unter dem Mittelwasser auf Kalkfels, links fanden sich nur anfänglich Blöcke und später verschiedene Schotter bis 20 m Tiefe. Nach T o r n q u i s t ergab eine rohe Analyse der Bohrproben auf Karbonate von 4 m bis 20 m Tiefe eine gleichbleibende Zusammensetzung der Ablagerung. Der Gehalt von in Salzsäure löslichen Karbonaten zeigte den Anteil der Kalke und Dolomite bis 4 m Tiefe größer als in der weiteren Tiefe. Von 0·48 bis 1·80 m sind 56 Gewichts-% Karbonate; von 6·30 bis 8·70 m 41%; 10·24 bis 13·60 m 37%; 16·1 bis 19·7 m 40 Gewichts-% Karbonate. Der nach der Lösung der Karbonate bleibende Rest bestand aus Milchquarzeröllen, teilweise Werfner und kristallinen Schiefen des Ennsoberslaufes und des Erzbaches. Danach waren also die oberen 4 m rezente Flußschotter und die darunterliegenden diluviale Niederschotter, die stärker zerteilt worden sind. „Die heutige Erosionsschlucht der Enns bis mindestens 20 m unter der Sohle ist kein Gebilde der Postdiluvialzeit; eine tiefere Rinne war schon beim Abschmelzen der Rißvereisung ausgebildet worden.“

Verfasser könnte noch viele Beispiele aus seiner Alpenpraxis an der Alfenz, Tri- und Rosana, Tur und Sitter, an den Tauern-

<sup>15</sup>) Diese Art Mündung sowie andere Stufenbildung ist wiederholt technisch verwertet worden!

<sup>16</sup>) Leider sind die Koten der Spezialkarte, der Bahn und des neuen Präzisionsnivelements des hydrographischen Dienstes um mehrere m nicht übereinstimmend (vgl. z. B. auch die eingeklammerten Höhen der Bahn auf Abb. 4).

<sup>17</sup>) Beispielsweise am Gesäuseeingang, unter der Kummerbrücke usw.

<sup>18</sup>) A. T o r n q u i s t, „Das Alter der Tieferosion im Flußbett der Enns bei Hiefiau.“ „Mitt. d. Geol. G. Wien“ 1915, S. 207 ff. T o r n q u i s t bespricht auch die Arbeit M. S i n g e r, „Geologische Erfahrungen im Talsperrenbau“. Diese „Zeitschrift“ 1913, S. 308, 321.

abfließen usw. geben, um nachzuweisen, daß verhältnismäßig selten in glazial verschütteten Tälern, Bächen und Flüssen gewachsene Felssohlen zu finden sind<sup>19</sup>); wäre die erwähnte gigantische Felstafel ob dem Gesäuseeingang fast in Gänze eingestürzt, so würde sie freilich infolge ihrer Abmessungen ein gutes Fundament geben, aber „gewachsen“ wäre sie nicht. Immerhin müssen auch solche Körper in „messende“ und sonstige Beobachtungen, insbesondere auf chronische und akute Bewegungen<sup>20</sup>), rechtzeitig einbezogen werden. Daß es auch in den schwierigsten technischen Verhältnissen und Aufgaben immer ein Bestes gibt, weiß jener zu schätzen, dem es nicht entgangen ist, daß selbst in der Natur der Grundsatz vertreten ist: mit möglichst kleinem Kraftaufwand die Erzielung größter Erfolge zu finden<sup>21</sup>).

Die oben berührten „Verbauungen“ oder Abdämmungen von Wasserläufen können aber auf mannigfache Beziehungen zu Erscheinungen im Äußeren und Inneren der Talhänge hinweisen, die eines großen technischen Belanges sind, beispielsweise auf Gleit- und Druckzustände in Erd- und Felsarbeiten sowie Stollen- und Tunnelbauten Einfluß haben dürften. Es sind bisher kaum Versuche gemacht worden, aus der Morphogenese Erklärungen von begründeten Möglichkeiten aufzustellen und selbe mit anderen zu vergleichen, um die wahrscheinlichste Erklärung daraus herauszuschälen. Ein wichtiges solches Beispiel muß hier Aufnahme finden. Das der Gesetzesvorlage an den Reichsrat behufs Genehmigung beigeschlossene Generallängenprofil der Wocheinerlinie zeigt zwischen Tunnelende bei Podbrdo und Grahovo folgende durchschnittliche Gefälle der Bača: auf 2 km etwa 25<sup>0</sup>/<sub>100</sub>, sodann bis Huda Južna 16<sup>0</sup>/<sub>100</sub>, dann bis etwa Km. 43 bereits 20<sup>0</sup>/<sub>100</sub>, um dann in einer Enge von etwa unter 1 km plötzlich auf 50 bis 53<sup>0</sup>/<sub>100</sub> zu gehen, unterhalb welcher wieder die früheren 16 bis 15<sup>0</sup>/<sub>100</sub> folgen. Liegt auch der Anfang des Steilgefälles in festem dolomitischem Kalk, so ist doch der größte Teil in den dortigen weichen, schwarzen triassischen Amphiklinenschiefern eingekerbt, wo doch gewöhnlich erfahrungsgemäß weichere Schichten leichter dem Tieferschneiden der Wassererosion zum Opfer fallen als härtere. Das Bachsteilgefälle an dieser Stelle mag daher wohl auffällig sein. Am linken Ufer daselbst liegt zwischen Km. 43/44 und 100 bis 150 m hängenwärts in den genannten, vielfach gequälten Schiefen, die aber doch im großen Ganzen annähernd fast parallel zur Tunnelachse, parallel zum steilen Berghang fallend, streichen, der außerordentlich druckreich gewesene Bukovotunnel. Die Überlagerung beträgt im höchsten Punkt bis zu 70 m. Diese und das Auftreten größeren Druckes zunächst der höchsten Überlagerung, ferner in vielen Fällen das Vorwiegen des Gebirgsdruckes von der Bergseite her, das sichtbare Vorkommen von Geländerutschungen auf einer terrassenförmigen Fläche über dem Tunnel usw. waren Anlaß zu verschiedenen Erklärungsweisen des auftretenden „sehr schweren Druckes“ im Tunnel. So wurde von geschätzter Seite keine Verbindung der obertägig sichtbaren Rutschungen über den Schichtköpfen der Schiefer liegenden Schuttmassen gefunden, sondern wird der stärkere bergseitige Druck dem Generalverflächen der Schichten zugeschrieben, wonach „der Druck in dieser Richtung gegen einen Hohlraum im Innern des Gebirges vorherrschen muß“. Ohne sehr eingehende Untersuchungen an Ort und Stelle unter- und ober-

<sup>19</sup>) Aus der bereits o. a. Arbeit S i n g e r s („Erf. i. Talsperrenbau“. 1913) seien jene Örtlichkeiten wiederholt, wo Verschüttungen behandelt wurden: Trisanaschlucht (auf 18 m noch kein Fels), Pontlatz, Straßenbrücke und Wehrbau ob der Lenderklamm (Gasteinerache; vertikale Felswände, auf 10 m Tiefe kein Fels); Salzachöfen bei Golling (senkrechte Wände, 11 m unter Wasserspiegel kein Fels; leider ist keine Meereshöhe in der Profilskizze, um beurteilen zu können, inwiefern die interglazialen Salzburger Seen des Beckens mit etwa 500 m (Mönchsbergnagelfluh; vgl. auch P e n c k, „Die interglazialen Seen von Salzburg“. „Ztschr. f. Gletscherkunde“ IV.) beteiligt sind); Saalach (30 und 22 m); Erlauf; Reifgraben, Celina (Durchbruch unter der Schutzsohle).

<sup>20</sup>) S. P a s s a r g e, „Physiologische Morphologie.“ 1913.

<sup>21</sup>) Vgl. S a n d e r, „Über Zusammenhänge zwischen Teilbewegung und Gefüge in Gesteinen.“ T s c h e r m a k s „Miner. u. petrogr. Mitt.“ 1911, S. 313.

irdisch, einschließlich der ganzen Umgebung und Vergleichen mit ähnlichen Vorkommnissen, u. zw. vor, während und nach dem Bau, ist natürlich eine solche Frage nach allen vorkommenden Möglichkeiten und Erwägungen nicht zu lösen. Daß an Hängen tiefgehende Gebirgslockerungen aus verschiedenen Anlässen vorwalten, ist bekannt. Um nur einige aus den Alpen selbst zu nennen, so haben der Mühlaltunnel am Brenner, besonders aber der erste (eingestürzte) Untersteintunnel tiefgreifende Lockerungen, letzterer senkrecht zur Schichtung, erwiesen. C. J. Wagner hat eine viel zu wenig gewürdigte, auf emsige Einzelmessungen gegründete lehrreiche Arbeit („Die Beziehungen der Geologie zu den Ingenieurwissenschaften.“ 1884) geliefert und 1889 „Über die Dynamik der Gebirge und die Hohlräume“ (diese „Zeitschrift“) gesprochen. Im Karawankentunnel hat F. Teller aus ihm dort gemachten Angaben auf einen tektonischen, angeblich auch im Tunnelbau fühlbaren Schub nach NNO geschlossen und E. Sueb

Geländeschollen am Nordrande des Bürgenstockes beschrieben und bildlich dargestellt. Die durch den Gebirgsbau bedingte Abgleitung soll zur Riß-Würm-Interglazialzeit erfolgt sein. Schließlich sei noch der oft gewaltigen Emporbewegungen oder Auftriebe selbst im festen Fels, also mit aufsteigenden Gleitflächen, gedacht. Wird nun das oben angegebene Längenprofil der Bača betrachtet, so ist es durchaus nicht ausgeschlossen, daß beim Riegel in der Bača bei Km. 43/44 das ehemals tiefer eingefressen gewesene entweder durch nachrutschende oder auftreibende Massen verlegt wurde. Ist die Terrasse ob dem Tunnel eine Abbruch- oder Rutschform, so mußte die Scholle große Lockerungen durchmachen, die, sich möglicherweise mit den jetzigen Lockerungen verbindend, den heutigen einseitigen Druck geben könnten<sup>22)</sup>.

Zur bildlichen Erläuterung der Darstellung von seitlich mündenden Stufentälern und der Bildung von Terrassen seien 2 Schichtenplanaufnahmen aus dem Ennstal (Original 1:2880) im

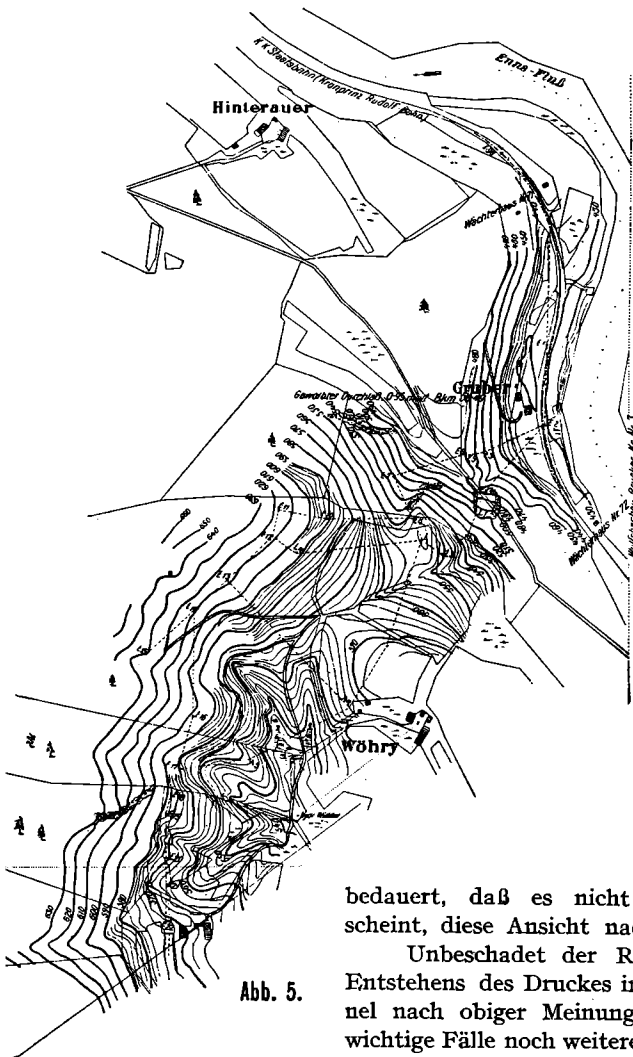


Abb. 5.

bedauert, daß es nicht möglich erscheint, diese Ansicht nachzuprüfen.

Unbeschadet der Richtigkeit des Entstehens des Druckes im Bukovotunnel nach obiger Meinung, sind solche wichtige Fälle noch weiterer Analyse zugänglich, die um so notwendiger ist, als

verschiedene Faktoren einwirken können und erst dann ein Gesamtbild der größten Wahrscheinlichkeit sich aufbaut. Die ganze Gegend unterlag, abgesehen von im Gefolge der allmählichen Gebirgsaufrichtung eingetretenen mannigfachen großen und kleinen Gleitbewegungen, Erosionen usw., seinerzeit ausgiebiger Vergletscherung. Die heutigen Steilgehänge der Bača sind Ergebnisse verschiedener Umgestaltungen, darunter auch beim Zurückgehen der Gletscher von den unter Eis begraben oder belastet gewesen übersteilen Seitenborden mehr oder weniger großen Abrutschungen und Abstürzen. Groß ist die Zahl der heute noch gut sichtbaren und daher bekannten prä-, inter- und postglazialen Bergstürze: ganze riesige Bergschollen haben sich in Bewegung gesetzt, die Wasserläufe wiederholt verbaut und verdrängt. Heim, Brückner, Oberholzer, Penck u. a. haben diesbezüglich vieles veröffentlicht: A. Buxdorf („Erläuterungen zur geolog. Karte des Bürgenstockes.“ Basel 1910) hat 2 große abgerutschte

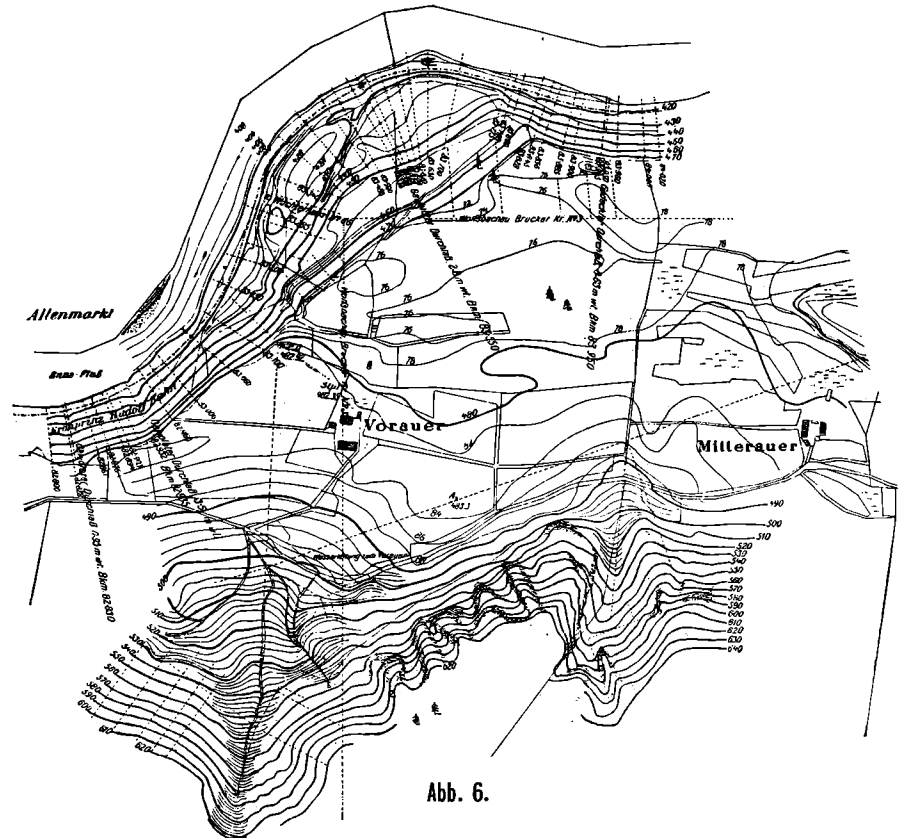


Abb. 6.

$\frac{1}{4}$  verkleinerten Maßstab, also 1:11.520, in Abb. 5 und 6 gegeben. In Abb. 5 steigt vom Ennsufer neben dem Eisenbahnkörper zwischen den Wächterhäusern Nr. 71 und 72 etwa von der Meereshöhe 430 m

<sup>22)</sup> Während der Durchführung der Korrektur wurde dem Verfasser die dankenswerte Mitteilung von berufener Seite, daß die Hangbewegungen über dem Bukovotunnel der Eisenbahnbauverwaltung im Herbst 1906 Anlaß boten, eine dreigliedrige Kommission (2 Mitglieder bei der Direktion und 1 Mitglied der Bauleitung Görz) zu entsenden, um folgende Fragen zu behandeln: 1. Besteht zwischen dem Bau des Bukovotunnels sowie dessen Hilfsstollens nebst Rollbahn und den oben an der Berglehne eingetretenen Rutschungen und Beschädigungen der Gebäude des . . . ein ursächlicher Zusammenhang? 2. Könnte durch das weitere Umsichgreifen der in Rede stehenden Rutschungen etwa die Gefahr einer Verlegung des Bačabettes und hiedurch mittelbar eine Gefährdung der Bahnanlage oder der Sicherheit des Betriebes eintreten? Besteht demnach die Notwendigkeit, durch geeignete Sicherungsarbeiten an der Lehne einer weiteren Ausdehnung der Rutschung rechtzeitig vorzubeugen, und eventuell in welcher Art wären diese Sicherungen am zweckmäßigsten und mit einem tunlichst geringen Kostenaufwande zu bewirken? — Am 5. und 6. November 1906 erfolgte die Besichtigung. Von einem der entsendeten Mitgliedern (M. Singer) wurden die allgemeinen geologischen Verhältnisse der Lehne in einem Lageplan sowie 5 Querprofilen bis 10. November dargestellt und sodann hiezu das Erforderliche im besonderen im Schlußbericht und Antrag (Görz, 11. November 1906) erläutert. Es muß dieser sehr

bis rund 480 m die linksuferige *Niederterrasse* (des später folgenden breiten Plateaus von Mitterauer und Vorauer) empor, ohne irgend eine Felsleiste zu zeigen; nach der sanft geneigten Tafel steigt die Terrassenböschung weiter bis etwa zur Schichtlinie und stärker geneigten Terrassenfläche 550 ob Wächter 72 und halbenwegs zwischen Wächter und Gehöft Wöhry. Hier erzwingen 3 im Lageplan angegebene Felsleisten die Form: a) die Felsleiste unter dem Worte „Durchlaß“ bei Kote 490 bis 540, b) die Felsrippen ob Bahn-Km. 86'6 (halbenwegs zwischen Gruber und Wächter 72) beim Wegknick zwischen 470 und 480, Oberkante der Kalkwände bei rund 510 m, und endlich c) halbenwegs zwischen a) und b) am Hang, wo senkrecht aus demselben eine Tafel sticht, die einen zweimal rechtwinkligen Knick im Böschungsgelände bedingt. Die Terrassenfläche geht dann in den Stufentalboden des Wöhry über, der nur zum Teil gegeben ist. Abb. 6 zeigt dieselbe (zweigeteilte) Niederterrasse etwas weiter ennsabwärts, aber in 3 Erosionsepochen, u. zw. etwa beim Wächter 66 bis Schichtlinie 430, darüber die Platte 450 bis 460 und schließlich die große breite kultivierte Terrassenfläche des Vor- und Mitterauer (480), hinter denen am Gehänge Felsformen hervorstechen. Den jeweiligen Ausrissen oder Mulden im obersten Gehänge des Planes (Hohlformen), insbesondere an 2 Stellen oberhalb Vorauer und zunächst von Mitterauer, sind Konvexformen (Schwemmkegel) talwärts angeschlossen. Über diesen Niederterrassen, die sich unter Berücksichtigung der erwähnten noch bestehenden Kotenunterschiede gut in den von P e n c k aufgestellten Aufriß<sup>23)</sup> einordnen lassen, sind ab und zu etwa 50 m höher Hochterrassenschotter mit Moränen sowie noch höher, besonders an geschützten (Lee-) Stellen, älterer und jüngerer Deckenschotter vorhanden, auf die hier nicht näher eingegangen wird. Das Material der Niederterrasse ist meist verkittet, grobkörnig, reich an zentralalpiner Rollsteinen und enthält nur selten Rollsteine löcheriger Nagelfluh, also höherer Terrassen. Nicht selten sind deltaartige Lagen und meist am Stoß mit dem Talgehänge. Die Niederterrasse begleitet die Enns in hervorragender Bedeutung. Die Straße liegt auf ihr, Dörfer und größere Bauerngüter liegen auf ihr, die Enns ist in relativ enger Furche eingeschnitten, doch kommen, wie in den Lageplänen (Abb. 5 und 6) erörtert, auch mehrfach abgestufte Erosionsterrassen in ihr vor, weshalb sie auch auf längeren Strecken nicht ihre normale Höhe hat. Bei Hieflau beim Scheibenbauer erreichen Niederterrassenschotter etwa 100 m Mächtigkeit. Diese und ihre Beschaffenheit verraten die Nähe von Moränen. Stellenweise sind sie grobblockig, z. B. auf der Station Hieflau. Im Hartelsgraben, 2 km ob Hieflau, liegt eine bis zur Talsohle herabreichende Nagelfluh mit gekritzten Geschieben und lehmigen Lagen: Jung-Endmoräne.

Diese Studie kann nicht geschlossen werden, ohne noch zweier verdienstvoller neuerer Arbeiten, die mit ihr in mannigfacher Wechselbeziehung stehen, wenigstens andeutungsweise zu gedenken. Die ältere vom Geomorphologen Hugo H a s s i n g e r<sup>24)</sup> behandelt die Strand- und Uferlinien, die das miozäne Mittelmeer und der darauffolgende Binnensee während der verschiedenen Entwicklungen des sogenannten inneralpinen Wienerbeckens gebildet haben. Durch die Erörterung des Verhältnisses zwischen dem Tertiär des Wienerbeckens und der genannten Uferformen wurde nicht nur ein Beitrag zur Paläographie der Umgebung Wiens, sondern auch ein Anfangspunkt für den Werdegang ihrer Oberflächenformen gewonnen. H a s s i n g e r hat hierbei ein morphologisches Arbeitsverfahren benützt, um zu neuen geologischen Ergebnissen zu kommen, „welche die stratigraphische Geologie bisher nicht zu erbringen vermochte“ und die auch für technisch-geologische Erkenntnisse von Bedeutung werden können. Die zweite

n a c h h m e n s w e r t e V o r g a n g ganz besonders deshalb hervorgehoben werden, als noch etwa vor einem halbdutzend Jahren vorher es unmöglich war, daß in der „Dienstklasse“ tiefer stehende Ingenieure zu ähnlichen Fragen berufen worden wären. Viele diesbezügliche Beispiele (vom Arlberg, Dux-Bodenbacher Bahn, Franz-Josefbahn, Linz—Gaisbach usw.) ließen sich anführen.

<sup>23)</sup> „A. i. E.“, Taf. I, 8.

<sup>24)</sup> „Geomorphologische Studien aus dem inneralpinen Wienerbecken und seinem Randgebirge.“ „Geograph. Abhandl.“, Bd. VIII (1905), H. 3.

Arbeit vom Geologen V. H i l b e r<sup>25)</sup> behandelt die Stufen in den Tälern. Er versteht unter Taltreppe den Inbegriff der Stufen eines Tales, also Längs- und Querstufen. Die letzteren, meist aus Fels, seltener aus Schutt, treten nicht so regelmäßig wie Längsstufen auf. Aus diesen setzt sich vorherrschend die Taltreppe zusammen. Nachfolgend ist nur von den das Tal seitlich begrenzenden Stufen einiges erwähnt. Es wäre nahegelegen gewesen, die Systematik H i l b e r s bei den gegebenen Erörterungen zu verwerten; nachdem dieselbe bisher aber noch wenig Eingang gefunden, wurde vorläufig hievon abgesehen. Die Treppe wird durch das körperliche Element der Stufe aufgebaut. H i l b e r bezeichnet den freien Abfall der Stufe „Hang“, die Oberfläche „Flur“, die an die Talböschung angelehnte (verdeckte) Grenzfläche „Lehne“, die untere Fläche „Grundfläche“, die Grenzlinie zwischen Hang und Flur „Außenkante“, zwischen Lehne und Flur „Innenkante“, welche Terminologie auch auf die Querstufen verwendbar ist. Die Treppe zeigt verschiedene Stufenarten: „Baustufen“ (bisher Akkumulations- oder Schotterstufen, auch Dammstufen bezeichnet) und Grundstufen (bisher „Erosions-“ oder „Felsstufen“). Die bisherigen Termini: Erosionsstufen und Akkumulationsstufen betrachtet H i l b e r als nicht gut. „Sie können nicht gebraucht werden mit Bezug auf die Bildung des Hanges, womit erst die Stufe vollendet ist, da die Hangbildung in beiden Fällen durch Erosion vor sich geht“. Die Verwitterungsstufen, eine Unterabteilung der Grundstufen, rechnet H i l b e r, als nicht in enger Beziehung zur Talbildung stehend, nicht zur Taltreppe. An manchen Stufen sind Auftragungen des Grundes seitlich von jüngeren Flußabsätzen eingehüllt: „Nebenbaustufen“. Eine andere Art bilden derartig zusammengesetzte Stufen, daß der untere Teil aus vordiluvialen Bildungen, der obere aus diluvialen Anschwemmungen besteht und die als „Überbaustufe“ benannt erscheint. Eine dritte Mischstufe wird als „Neben- und Überbaustufe“ gekennzeichnet. Statt der P e n c k schen Bezeichnung „Teilfeld“ wird „Teilstufe“ gesetzt.

Die durch Erosion erzeugten Ruinen alter Stufen bilden eine Besonderheit in der heutigen Erscheinungsform. Im welligen Hügelland Steiermarks werden häufig lange, fast wagrechte Kammenteile mit Nachbarhügeln beiläufig gleich hoch gefunden. Bei diesen Stufen steigt man nicht von der Flur der einen unmittelbar auf den Hang der folgenden, sondern muß zuerst über den Hang absteigen, um den Hang der Nachbarstufe oder des benachbarten Bruchstückes der gleichen Stufe zu erreichen. Häufig sind diese als Reste alter Talböden erkennbaren Flächen von Tertiärschotter bedeckt. Ein Kartenvergleich läßt auch an diesen Stufen weit auseinander abtastende Höhenlagen erkennen. Jeder derartige Körper mit nahe wagrechter, einen Teil eines Rückens oder einen Rücken selbst bildender Oberfläche wird „Schemel“ bezeichnet. Danach also Grund-, Bau-, Nebenbau-, Überbau-, Neben- und Überbau-Schemel). Der Schemel hat keine Lehne, sondern einen treppabwärts liegenden Außenhang und einen treppaufwärts liegenden Innenhang.

Entstehung: Die Baustufe wird durch Aufschüttung und nachherige Ausräumung in Einschnittsform gebildet, die Grundstufe entsteht durch Bildung eines Talbodens und Einschneiden in ihn. Die Flur der Baustufe ist wohl das unmittelbare Erzeugnis der Ablagerung. Nach D u P a s q u i e r<sup>26)</sup> ist das Beobachten des häufigen Ansteigens der Baufluren darin zu sehen, daß der Innenrand durch Anschwemmung erhöht wird und der Außenrand vertieft. Ist Bauflur und Grundflur auch ein Ergebnis seitlichen Flußwanderns, so besteht doch ein wesentlicher Unterschied in der Entstehung der Flur im ersten Fall durch Aufschüttung bei Betterhöhung und fortwährend seitlicher Verlegung der Aufschüttungsflächen, im zweiten durch Erosion ohne Niveauveränderung des Bettes bei fortwährender seitlicher Verlegung der Angriffsfächen. Seitenerosion ist auch zur Wiederholung des Vorganges, für die Bildung einer zweiten Baustufe nach Eingrabung eines tieferen Talbodens nötig, da die Baustufen häufig so breit er-

<sup>25)</sup> „Taltreppe.“ Eine geologisch-geographische Darstellung Graz 1912, Selbstverlag.

<sup>26)</sup> „Über die fluvioglazialen Ablagerungen d. Nordschweiz.“ „Beiträge z. geolog. Kenntn. d. Schweiz“, N. F., 1. Liefg. Bern 1891.



scheinen, daß sie nicht als bloße Flußbrinnenausfüllung zu betrachten sind. Der Eingrabung einer zweiten eingebauten Stufe, von P e n c k als „Einschachtelung“ bezeichnet — Einschachtelung mit unvollständiger Ausräumung, wobei sich jüngere über tiefere ältere anhäufen, ist nicht selten — wird gewöhnlich eine Verbreiterung des Talbodens in den Ablagerungen der ersten Aufschüttung, somit Beharrlichkeit des Talniveaus, vorhergegangen sein. Der Vorgang seitlichen Wanderns erhellt durch die Erwägung, daß nach der den Hang der ersten Baustufe erzeugenden Tiefenerosion Aufschüttung begann, derart, daß zwischen beiden entgegengesetzten Vorgängen — Erosion und Aufschüttung — irgend ein Stillstand sich ergab.

G r u n d s t u f e n ergeben sich daher durch Wechsel von Talverbreiterung und Talvertiefung, B a u s t u f e n zufolge Wechsel von Talerhöhung und Talvertiefung. Hat das Gewässer seine Erosionsgrenze erreicht, so ergeben sich die Grundfluren.

Die Anschüttung der Baustufen beginnt vom Talursprung, also von oben nach unten zu. Jener Schutt, dessen Verfrachtung das Gewässer nicht besorgen kann, bleibt naturgemäß zunächst oben liegen, wodurch sich eine Neigungsverstärkung des Grundes ergibt, welche soweit fortgesetzt wird, bis die Geschiebeförderung eintritt. Die entstandene Neigungsgröße ist auch von der Korngröße der Schotter abhängig und folgt aus der Entstehung auch,

daß die Schotter gegen den Ursprung mächtiger als unten sind. Die Hangbildung der Längsstufen und damit erst der Stufen selbst geht der rückschreitenden Erosion entsprechend von unten nach oben vor sich. Allgemein wird bei Bildung der Grundstufen die erste Gestaltung, Talbodenerweiterung, unten zuerst auftreten, weil daselbst der Fluß zuerst seine Erosionsterminante erreicht, und die Hangbildung gleicht jener der Baustufen. H i l b e r behandelt als Beispiel die Taltreppe bei Graz, beginnt mit dem Tertiär am Schöckel in 1440 m Seehöhe, an die 6 Stufen bis 410 m anschließen, dann die 5 Diluvialstufen und jene des Alluviums. Bei den Baustufen werden Moränen und Riegelbildung (im Talboden), sodann die Ursachen der Aufschüttung nach verschiedenen Ansichten behandelt, um schließlich die oben angegebene (Änderung der Wassermenge durch Niederschlagsänderung) als allgemeinen Faktor beizubehalten. Viele Fragen bedürfen noch des weiteren Ausbaues. Geologische Karten (1: 75.000) lassen vielfach im Stich. Zum Beispiel haben in den Gneisen und Graniten Böhmens manche Täler an vielen Stellen (ohne geologische Ausscheidung) auf 20 m Tiefe kein anstehendes Gestein gegeben, sondern weiche Tegel und sandige Schichten, die eine vollkommene Projektänderung bedingten, Fälle, die der Verfasser an anderer Stelle behandelte.

Wien, 28. Februar 1917.