

Hochgebirgsbauten und Geologie.

Vom Geologen Priv.-Doz. Dr. Ernst Nowack, Seeham bei Salzburg.

Immer mehr bemächtigt sich der Techniker mit seinen Kunstbauten auch des Hochgebirges, immer vielseitigere Entfaltungsmöglichkeiten bieten sich dem rastlosen technischen Fortschritt auch in den Hochregionen der Alpen. Zunächst waren es die, die Alpenpässe bezwingenden Straßen, die den Ingenieur ins Hochgebirge aufzusteigen zwangen, dann folgten die Bahnen — zuerst die dem Durchgangsverkehr dienenden Paßbahnen, dann bald auch die Bergbahnen für touristische Zwecke. Die ersten kühnen Wagnisse, Marksteine in der Entwicklung der Hochgebirgsbauten, waren der Bau der heute noch in gleicher Weise bewunderungswerten Semmeringbahn und etwa 50 Jahre später der Bau der bis über 3000 m emporführenden Jungfraubahn im Berner Oberland. Diese Projekte galten den Zeitgenossen zunächst für verrückt und nur unendliche Zähigkeit mit auf Selbstvertrauen gegründetem Wagemut verhalfen diesen kühnen Projekten gegen ein Heer von Widersachern und Miesmachern zur Verwirklichung.

Wir stehen jetzt mitten in einer neuen Welle der Entwicklung der Hochgebirgsbauten: durch den Ausbau der Wasserkräfte, die sich, um möglichst hohe Gefällsstufen auszunützen, immer höher in das Gebirge emportasten. Auch heute sehen sich einige wagemutige Techniker wieder einer Mauer von Bedenken gegenüber. Mit „unmöglich, ein Wahnwitz“ möchten viele die Projekte beiseite schieben. Aber mit Verneinung allein wäre nie ein Fortschritt erzielt worden.

Kamen schon die Straßen- und im höheren Maße die Bahnerbauer im Hochgebirge in enge Fühlung mit der Geologie — hauptsächlich durch die vom Gelände erzwungenen Tunnelanlagen —, desto mehr sieht sich der Wasserbauer mit seinen viel mannigfaltigeren und tiefer in die Natur eingreifenden technischen Anlagen immer wieder vor geologische Fragen gestellt. So hat der Wasserbauer sehr bald die Notwendigkeit einer geologischen Mitarbeit erkannt, und im Hochgebirge, wo er in noch höherem Maße den Gewalten der Natur gegenübersteht, ist dieses Verlangen nach Mithilfe der Naturwissenschaften um so lebhafter. So ist es heute bereits überflüssig, die Zusammenarbeit zwischen Technik und Geologie im Wasserkraftausbau zu begründen¹⁾; wir wollen vielmehr einen Ausblick geben, wie geologisches Erkennen dem im Hochgebirge planenden und bauenden Ingenieur zu Hilfe kommen kann; wir wollen zeigen, daß gewisse geologische Gesetzmäßigkeiten

¹⁾ Man vergleiche die einschlägigen Arbeiten von Stiny in dieser Zeitschrift und Wilser: Geologische Voraussetzungen für Wasserkraftanlagen (Verlag Springer) u. a.

auf dem Gebiete der Formenentwicklung dem Hochgebirgsingenieur bei seinen Anlagen immer wieder begegnen werden. Bei ihrer richtigen Einschätzung werden sie in hohem Grade schon die Projektierung günstig beeinflussen können. Diese Gesetzmäßigkeiten haben im wesentlichen ihre Ursache darin, daß ein gewaltiges formengebendes Ereignis über unsere Alpen, wie über die meisten Hochgebirge der Erde in geologisch junger Zeit hinweggegangen ist: die Eiszeit.

Eiszeit und Hochgebirgsrelief.

Die Eiszeit, oder genauer ausgedrückt: die Eiszeiten des Diluviums haben gewaltige Spuren im Antlitz unserer Gebirge hinterlassen, ja es geht sogar das Wesentliche ihres Gepräges auf die Gletscherwirkungen der Eiszeiten zurück. Das, was an Formen vor der Eiszeit vorhanden war, ist uns zwar zum Teil überliefert, jedoch wesentlich verändert worden; der Gletscherschurf der Eiszeit wirkte eben als Werkzeug ganz anderer Art, als der vor der Eiszeit allein wirksame Wasserschurf. Nur voreiszeitliche Großformen waren richtunggebend für die Formenausgestaltung während der Eiszeiten und sie schimmern heute noch, gleichsam als Grundplan des Alpenreliefs hindurch. Den, nach bestimmten Gesetzen dem Hochgebirge aufgeprägten Eiszeitspuren begegnen die Hochgebirgsbauten auf Schritt und Tritt und ihnen muß sich der Ingenieur anpassen, wenn nicht der Natur, die sich sicher später dafür rächen würde, Gewalt angetan werden soll.

Die eiszeitlichen Gletscher haben teils durch ihre schürfende Tätigkeit Hohlformen geschaffen, teils durch ihre Transportkraft Gesteinstrümmen in riesigen Massen fortbewegt und wieder als Moränen abgelagert. Wir werden daher schon in dieser Beziehung die Auswirkungen der Eiszeit auf die Hochgebirgsbauten nach zweifacher Richtung erkennen. Seit dem Rückzug der letzten großen Eiszeitgletscher ist bereits geraume Zeit — 20.000 bis 30.000 Jahre — vergangen; seither wirken wieder die unserem heutigen Klima entsprechenden Kräfte bei der Ausgestaltung des Hochgebirges. Die von der Eiszeit geschaffenen Formen sind heute — bis auf die Firnregionen — Fremdformsformen in der Landschaft. Sie sind bereits daran, sich wieder zu verwischen, da die Natur bestrebt ist, einen neuen, eben dem heutigen Klima entsprechenden Gleichgewichtszustand zu schaffen. Dieser Formenausgleich vollzieht sich durch Einschüfung da, durch Aufschüttung dort. Auch das vollzieht sich alles gesetzmäßig.

Wir erkennen somit, kurz zusammenfassend, im Hochgebirge eine Kette gesetzmäßig ablaufender formenbildender Vorgänge: voreiszeitlich die Herausbildung der Grundgestalt des Gebirges durch Wirkung des Wasserschurfes, eiszeitlich eine wesentliche Umgestaltung durch den Gletscherschurf unter teilweiser Zerstörung der früheren Formen, aber unter Beibehaltung der Hauptformenzüge. Nach-eiszeitlich den wieder in Tätigkeit tretenden Wasserschurf, der die eiszeitlichen Fremdformen zerstört und im Begriffe ist, neue, dem heutigen Klima angepaßte Ausgleichsformen zu schaffen.

Treppenbau des Alpenreliefs.

Ein Beispiel soll uns zeigen, wie dieser gesetzmäßige Formenablauf sich auf das Bauen im Hochgebirge auswirken kann.

Es ist eine bekannte Tatsache, daß unser Alpenrelief einen Treppenbau hat. Das heißt, die Talhänge und die Talböden steigen nicht mit stetiger Kurve zu den Gipfeln und Sätteln der Kämme empor, sondern ihre Profile sind gestuft: Steilhänge wechseln mit Hangverflachungen, Gefällsbrüche und Wasser-

fälle mit gefällsarmen Strecken oder fast ebenen „Böden“. Die räumliche Verbreitung dieser „Flachformen“ ist verschieden, manche sind weithin durch fast die ganzen Alpen verfolgbar, andere sind mehr oder minder örtlich beschränkt. Die ebenen Talbodenstrecken und die Hangterrassen lassen vielfach gegenseitige Beziehungen erkennen, sie gehören einer Formengruppe des gleichen Niveaus an.

Die Frage nach der Entstehung dieses Wechsels von Flach- und Steilrelief im Antlitz der Gebirge darf uns hier nicht beschäftigen, es würde uns vom Thema zu weit ab führen¹⁾. Nur so viel sei gesagt, daß wir es hier mit einem in der Anlage voreiszeitlichen Formenschatz zu tun haben; er hat in hohem Grade die Wirkungsweise der eiszeitlichen Gletscher beeinflusst.

Eines der verbreitetsten Flachreliefs liegt in der Höhe von etwa 2000 m und etwas darüber. Es ist wohl das schärfst ausgeprägte und allgemeinste Niveau unserer Alpen, das deren Relief sozusagen in zwei Haupttreppenabsätze gliedert. Dieses Niveau prägt sich in den Zentralalpen sowohl im Querprofil der Täler als Gehängeleisten und Hangverflachungen, wie auch im Längsprofil in Gefällsveränderungen, häufig in ausgesprochenen „Böden“ aus. Und ebenso finden wir dieses Niveau, wie es die auffallend gleichen Gipfelhöhen der mugeligen, almbedeckten Berge der Salzburger und steirischen Schieferalpen verbindet (Kitzbühler Alpen, Seetaler Alpen, Kor-

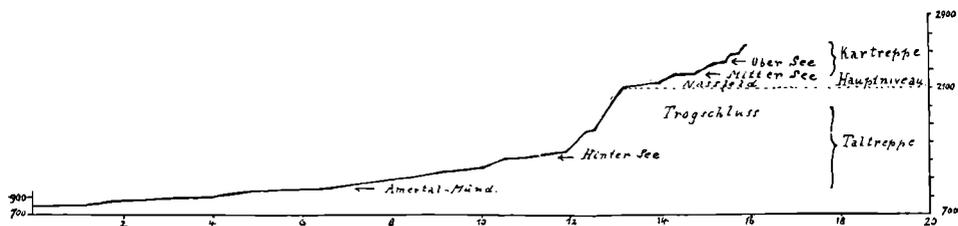


Abb. 1.

Längenschnitt des Felber Tales in den Hohen Tauern als Beispiel für den Stufenbau eiszeitlich vergletschert gewesener Hochgebirgstäler.

alpe usw.), und schließlich finden wir es auch in der Form von Plateaux in den nördlichen Kalkalpen (Reiteralm, Plateau des Sarstein, Totes Gebirge, Rax usw.).

Über diesem „Hauptniveau“ — wie wir es nennen wollen — liegt die „Kartreppe“ mit bis drei gut ausgeprägten Niveaux, an welche sich die für unser Hochgebirge so charakteristische Erscheinung der „Kare“ knüpft. In den Zentralalpen liegen diese Niveaux der Kartreppe teilweise schon unter Gletscherbedeckung (Abb. 1).

Unter dem Hauptniveau, in der „Taltreppe“, prägen sich wiederum eine Reihe von Niveaux aus, deren Erscheinungsform jedoch eine wesentlich andere ist als die in der „Kartreppe“. Während wir im „Hauptniveau“ und über diesem oft weithin zusammenhängende Stücke vom Flachrelief, richtige Flachlandschaften finden, die sich über Tal- und Bergformen hinwegziehen, sind die Niveaux unter dem Hauptniveau teils als Talbodenverflachungen, teils als, der Talfurche folgende Terrasse, Leiste oder Gesimse entwickelt. Die Niveaubeständigkeit ist viel geringer, es hält oft schwer, die Niveaux in ein System zu bringen.

¹⁾ Ich habe versucht, in meinem Buche „Werden der Landschaft“ diese Fragen einem weiteren Kreise verständlich zu machen.

Mit diesen Andeutungen über den in seiner Anlage schon voreiszeitlichen Treppenbau unseres Alpenreliefs (er gilt übrigens in ähnlicher Weise für andere Hochgebirge) müssen wir uns begnügen. Welche Bedeutung hat er nun für die Hochgebirgsbauten? Um das voll zu würdigen, müssen wir nun wieder auf die Eiszeitwirkungen zu sprechen kommen.

Eiszeitliche Umgestaltung.

In der Form, wie sich der Treppenbau uns heute vorstellt, nimmt an seiner Ausgestaltung der eiszeitliche Gletscherschurf wesentlichen Anteil. Die Gletscher haben das vorgefundene, fein vom Wasser zisielierte Relief tief ausgehobelt, das Relief wurde „übertieft“ und geweitet; es entwickelte sich die charakteristische U-Form unserer Hochgebirgstäler: das Trogtal (Abb. 2). Andererseits brachte es die, dank der riesigen Eismächtigkeit viel größere Wucht der fließenden Eismassen mit sich, daß die im Zuge des Eisstromes vorhandenen Gefällsunterschiede herausgearbeitet wurden. So ist der Treppenbau vieler unserer Hochtäler, wenn auch in seiner ersten Anlage

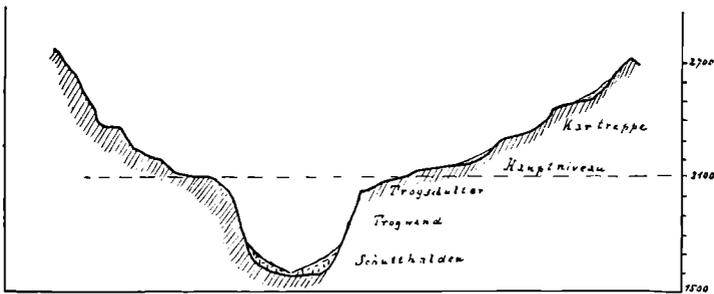


Abb. 2.

Querschnitt eines zur Eiszeit vergletschert gewesenen Tales (schematisch).

voreiszeitlich, so doch in seiner heutigen, so überaus auffälligen Form ein Werk der Eiszeit. In gefällsarmen Strecken arbeitete der Gletscher in die Breite, in Gefällsstufen arbeitete er mit voller Wucht in die Tiefe und kolkte vor allem die charakteristischen Wannens aus. Es bildete sich so in vielen Talstrecken ein rückläufiges Gefälle aus. In der Kartreppe sehen wir heute noch vielfach die glazial ausgeschürften nackten Felswannen vor uns, in tieferen Lagen (unter dem Hauptniveau) sind sie jedoch zugeschüttet. Oft füllen über 100 m mächtige Ablagerungen die glazial ausgekolkten alten Wannens, in denen sich nach dem Eisrückzug die Schmelzwässer als Seen sammelten und ihren Schutt abbluden.

Daß somit beispielsweise die Wasserkraftanlagen im Hochgebirge mit ihren Speicherbecken und der Ausnützung von Gefällsstufen im Wesentlichen von den Eiszeitformen abhängig sind, liegt auf der Hand; vielfach sind es auch die Stufenmündungen der Nebentäler in das von viel mächtigeren Eismassen durchflossene und daher viel tiefer ausgeschürfte Haupttal, an welche die Kraftanlagen knüpfen. Den Verkehrsanlagen andererseits bieten die Talstufen große Hindernisse. Und noch größere Schwierigkeiten bereiten dem Straßen- und Bahnbau die Trogwände (Karwendelbahn!), die, wenn sie nicht zu umgehen sind, zu den teuersten Strecken werden.

So interessant diese allgemeinen Erkenntnisse von der Abhängigkeit der technischen Anlagen von den Eiszeitformen auch sein mögen, sie sind für

den Ingenieur nicht weiter von praktischem Interesse. Es gibt hingegen gewisse, ins Einzelne gehende Gesetzmäßigkeiten, deren Beachtung für den Techniker sehr wichtig ist. Dazu müssen wir aber nun noch das dritte Stadium unseres Formenablaufes, das nacheiszeitliche, betrachten.

Der nacheiszeitliche Formenablauf.

Durch die heute vorwiegend im Wasserschurf wirksamen Kräfte werden die übersteilen Formen der Eiszeittäler — das sind vor allem die Trogwände — beseitigt, die Stufen zersägt und abgeflacht, die Kolke und Wannen ausgefüllt. Im allgemeinen ist der Vorgang heute noch nicht weit fortgeschritten, er ist vielmehr noch völlig in Fluß: am Fuße der Trogwände sammeln sich mächtige Schutthalden, die Wände selbst werden von tiefen Steilrinnen zerfurcht, in denen Muren und Lawinen niederprasseln und aus denen sich weite Schuttkegel in die Talböden vorbauen. Manchmal — wenn die Gesteinsverhältnisse dazu neigen — gehen auch Bergstürze von den Wänden nieder und grobes Trümmerwerk sperrt dann hier und dort das Tal. Die Talstufen sind meist erst in engen Klammern durchsägt; wo der Vorgang weiter fortgeschritten ist, das nacheiszeitliche Tal bereits erweitert ist, da liegt nur mehr ein Riegelberg als letzter Zeuge der alten Stufe quer über das Tal.

Diese ganze, noch heute lebhaft umgestaltete vollzieht sich im Wesentlichen in der „Taltreppe“, also unter dem „Hauptniveau“ in 2000 m. Denn in dieses Niveau hatten sich die alten Gletscher eingetieft, unter 2000 m setzt die Erscheinung der Übertiefung ein. Die Trogränder fallen somit mit dem Hauptniveau zusammen. Es ist dies kein Zufall, es vermochte eben der eiszeitliche Gletscherschurf das ausgedehnte Flachrelief im Hauptniveau nicht zu zerstören. Gebirgsauswärts divergieren Trogränder und Flachformen des Hauptniveaus.

Im allgemeinen liegen also unter 2000 m heute die unausgeglichenen Steilhänge mit allen ihren Gefahren, über 2000 m erscheint meist bald das Flachrelief, hier entfaltet der Wasserschurf mit seinen meist noch getrennten Wasserfäden verhältnismäßig geringe Leistung. Erst höher oben, in der „Kartreppe“ sind — wenn auch in viel geringerem Maße als in der „Taltreppe“ — Ausgleichsvorgänge im Gang, meist nur in Form von Wandverbruch infolge Frostwirkung, da das rinnende Wasser in dieser Höhe fast keine Wirksamkeit mehr entfaltet.

Das „Stufengesetz“ der Hochgebirgsformen.

Wir begegnen also, im Gebirge aufsteigend, folgenden Gesetzmäßigkeiten: Aus dem Haupttal in das Nebental tretend, kommen wir in den Bereich der Taltreppe: Von Klammern durchsägt Talstufen wechseln mit ebenen „Böden“, steile Trogwände steigen zu beiden Seiten empor, Schutthalden und Bergstürze begleiten ihren Fuß, tiefe Seitenrinnen, die Bahn von Grundlawinen und Murgängen, zerfurchen die Flanken und bauen gewaltige Schuttkegel quer über den Talboden. Über 2000 m — gegen das Talende — empfangen uns meist flache, ausgeglichene Formen (Abb. 4), oft rund gebuckelte Schliftformen des Eises, noch wenig vom Wasser, das in einzelnen Fäden rinnt, zerfurcht, die Hänge oft von Matten und Almen bedeckt. Darüber setzen wiederum steilere Formen (Abb. 3), die Kartreppe, ein: Steilstufen mit Schutthalden an ihrem Fuß wechseln mit oft von kleinen Seen erfüllten Absätzen und Felswannen. Hier, in der Hochregion, mit einem der Eiszeit ähnlichen Klima, sind die Ausgleichsvorgänge kaum noch im Fluß. Über der „Kartreppe“, die oft noch unter dem Eise der heutigen Vergletscherung begraben liegt,

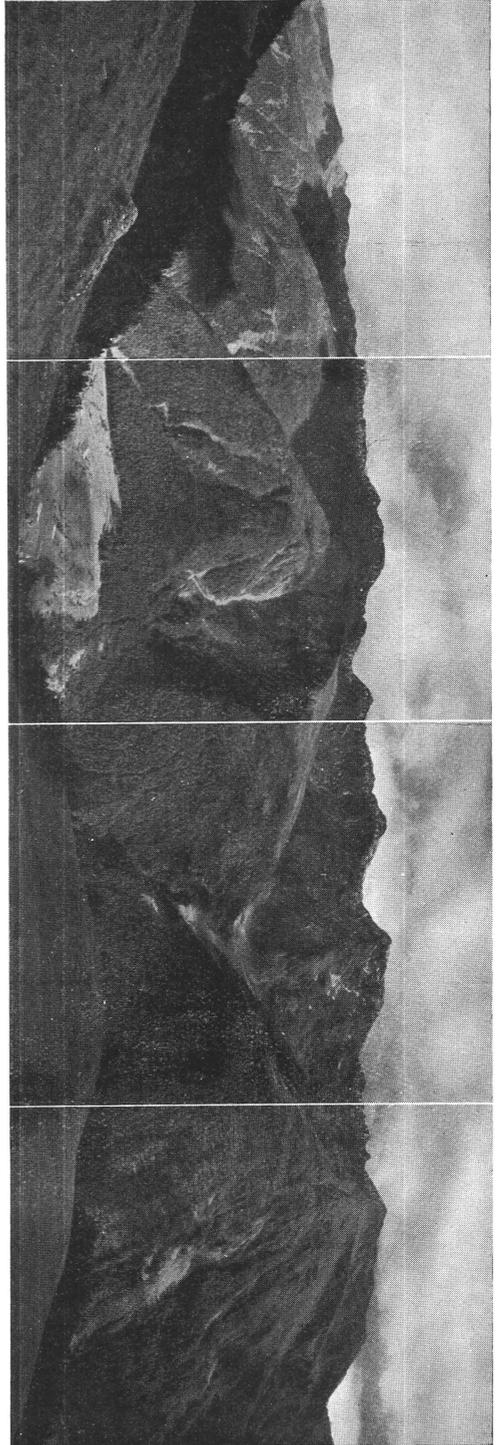
steigen die steilen Gipfel- und Gratiormen auf (Abb. 3).

Diese, an bestimmte Höhenstufen gebundene Gesetzmäßigkeit der Formen und der sie gestaltenden Vorgänge, eine Gesetzmäßigkeit, die sich, wie wir sahen, aus dem Zusammenwirken voreiszeitlicher, eiszeitlicher und nacheiszeitlicher Zustände ergibt, wollen wir das „Stufengesetz“ der Hochgebirgsformen nennen. Es ist beispielsweise ausgezeichnet in den Hohen Tauern ausgeprägt und hier hat sich auch ein gewaltiges, technisches Projekt, jenes des Tauernwasserkraftwerkes der A. E. G. in vorbildlicher Weise daselbe zunutze gemacht.

Auswirkung des Stufengesetzes auf technische Projekte; das Tauernwerkprojekt der A. E. G.

Das Tauernwerkprojekt der A. E. G. bietet uns das beste Beispiel einer ins einzelne gehenden Auswirkung des Stufengesetzes auf ein technisches Projekt. Dieses Projekt sieht zur vollen Ausnutzung des vorhandenen Nutzgefälles in den Hohen Tauern eine Fassung der Gewässer in der Höhe zwischen 2080 bis 2300 m vor. Hangkanäle sollen die in dieser Höhe noch nicht vereinigten Wasseradern sammeln und in Stollen sollen die in den einzelnen Tälern gesammelten Wässer der Nord- und Südseite des Gebirges in zwei große Speicherbecken in 2000 m geleitet werden. Aus richtiger Naturerkenntnis baut

Das Detreggen-Gebirge von Norden. Zeigt das Flachrelief zwischen 2000 und 2300 m. (Die 2000-Meter-Linie fällt ungefähr mit der oberen Waldgrenze zusammen.) Aufnahme: P i l o t y.



sich dieses Projekt somit — abgesehen von den hier nicht weiter zu erörternden hydrologischen Momenten — auf der Tatsache auf, daß im Niveau von 2000 m: 1. gewaltige Speichermöglichkeiten vorhanden sind, 2. daß das über dieser Höhe in der Regel vorhandene Flachrelief die Führung von Hangkanälen gestattet. Aber mit dieser grundsätzlichen Erkenntnis nimmt das Projekt auch eine ganze Anzahl, sich unmittelbar aus dem Stufengesetz ergebende Vorteile mit sich: Die Schuttbedeckung ist in diesem Niveau verhältnismäßig gering oder doch meist harmlos; wir befinden uns im allgemeinen auf einem breiten Felsgesimse, das wohl vielfach mächtige Humusauflagerung mit einer Grasnarbe aufweist, in welchem aber, die für hochalpine Bauten mit Recht gefürchteten beweglichen Schutthalden verhältnismäßig sehr zurücktreten. In diesem Niveau entgehen die Bauten auch der Hauptzerstörungswucht der Lawinen und Muren, deren Schauplatz, wie wir wissen, die tiefere „Taltreppe“ ist. Und auch die Stollenbauten genießen in diesen Höhen einen sehr bedeutenden Vorteil: ihre Mundlöcher kommen vorwiegend sehr günstig in anstehenden

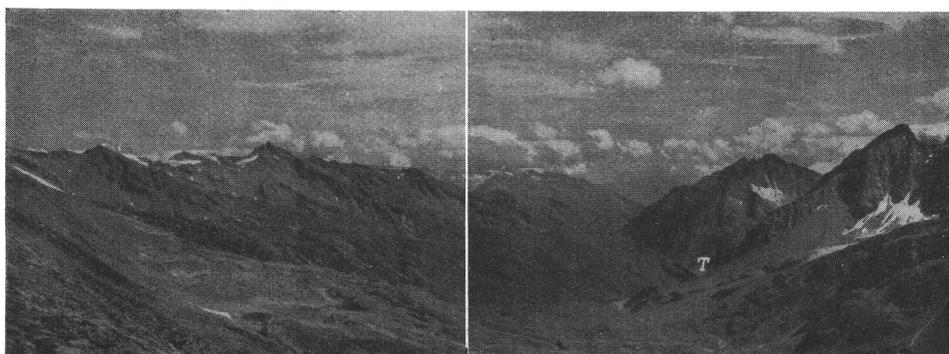


Abb. 4.

Das oberste Froßnitztal auf der Südseite der Venedigergruppe. Blick talauswärts. Bei T, in etwa 2000 m, setzt die Übertiefung ein. Über 2000 m Flachrelief und Schliifformen. Aufnahme: Piloty.

Fels zu liegen. Schon wenig höher setzen bereits die Moränen der heutigen Vergletscherung und die Halden der Kar-Nischen auf.

Wir sehen daher auch, daß eine Verlegung der Wasserfassung mittels Hangkanälen auf ein tieferes Niveau (ein höheres kann nie in Frage kommen) auf unüberwindliche geologische Schwierigkeiten stößt. Was im Hauptniveau von 2000 m ohne wesentliche Schwierigkeiten möglich ist, muß im tieferen Niveau, in der Gefahrzone der Taltreppe scheitern!

Auch Verkehrsanlagen im Hochgebirge können aus dem Stufengesetz Nutzen ziehen. Auch hier, wenn möglich: Heraus aus der Taltreppe, in welcher, abgesehen von den Geländeschwierigkeiten, auch alle nötigen Sicherheitsbauten viel Geld verschlingen! Möglichst Ausnützung der Vorteile im Hauptniveau! Das Glocknerstraßenprojekt genießt beispielsweise diesen großen Vorteil, daß sich seine Trasse auf weite Strecken im Hauptniveau bewegt und infolgedessen für eine Hochgebirgsstraße verhältnismäßig sehr geringen technischen Schwierigkeiten begegnet.

Das untere Ende der Taltreppe mit ihren charakteristischen, technischen Anlagen feindlichen Erscheinungen, wird im allgemeinen um 1000 m anzunehmen sein. Man wird also schon bei Projektierungen möglichst allen

größeren, tiefer in die Natur eingreifenden technischen Anlagen in der Höhe zwischen 1000 und 2000 m aus dem Wege gehen oder doch in der Wahl der Trassen und Baustellen sehr vorsichtig sein müssen.

Verschiedenheit der Stufengrenzen in verschiedenen Gebirgen und Gebirgsabschnitten.

Wenn auch das Stufengesetz eine allgemeine Gültigkeit für alle Hochgebirge hat, die eine eiszeitliche Vergletscherung mitgemacht haben, so verschieben sich naturgemäß in den verschiedenen Gebirgen und Gebirgsabschnitten, je nach der klimatischen Lage, die Stufengrenzen. So verhalten sich beispielsweise die Schweizer Alpen schon etwas verschieden von den Ostalpen und nähern sich die Ötztaler Alpen in ihrem Verhalten bereits mehr der Schweiz als den Hohen Tauern. Es müssen sich also Gebirgs-einheiten in Bezug auf die Gültigkeit der Stufengrenzen ergeben -- hier liegt ein anziehendes Untersuchungsfeld vor uns.

Andere Beispiele: Mit Moränen verschmierte Gesimse.

Wir wollen nun noch einige andere Beispiele kennen lernen, die in einer mehr versteckten Weise uns den Einfluß des Zusammenwirkens eiszeitlicher, vor- und nacheiszeitlicher Zustände auf technische Bauten vor Augen führen.

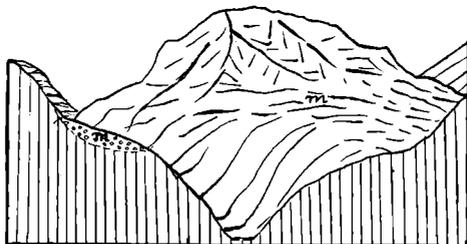


Abb. 5.

Schaubild einer Eckflur (Gesimse), die mit Moräne (m, links vom Schnitte getroffen) verschmiert ist.

Häufig läßt sich in einem Niveau von etwa 300 m über der heutigen Talsohle eine Hangterrasse oder -verflachung beobachten; sie ist besonders an den Mündungen von Nebentälern in das Haupttal, als sogenannte „Eckflur“ entwickelt und gibt Gelegenheit zu Ansiedlungen und Feldbau. In diesen sozusagen toten Winkeln der Eckflur haben sich häufig Reste eiszeitlicher Moränen erhalten (Abb. 5). Ja, es kann geschehen, daß die Gesimse nur sehr undeutlich, nur als etwas einspringender Winkel sich im Hangprofil zu erkennen geben, weil sie von Moräne ausgeschmiert sind; erst die genaue, örtlich geologische Untersuchung legt diese Verhältnisse oft klar; ohne diese ist man oft verleitet, einen einheitlichen Felshang anzunehmen. Es scheinen nun vor allem die Moränen der ausklingenden Eiszeit gewesen zu sein, die sich auf den Eckfluren dieses Niveaus festsetzten, Moränen aus einem Vergletscherungsstadium, in welchem die Gletscher gerade noch das Haupttal erreichten und ihre Moränen am Ausgang der Nebentäler aufbauten. Im Tale selbst sind die Moränen längst nacheiszeitlich ausgeräumt, nur oben am Hang, auf den Gesimsen, kleben noch ihre Reste. Am Hang des Haupttales zwischen den Mündungen zweier Nebentäler ist daher die Wahrscheinlichkeit Moränen anzutreffen im allgemeinen viel geringer.

Auf die Möglichkeit, in tieferen Lagen der Länge, wo diese bereits mit geschlossener Vegetation bedeckt sind, auf mit Moränen verschmierte Gesimse zu treffen, werden verschiedene Bauanlagen Rücksicht nehmen müssen; denn meist hat man es hier mit heftig rutschendem, wasserdurchtränktem Gelände zu tun. Man wird also bei der Trassierung von Verkehrsanlagen, Druckrohrleitungen, bei Stolleneinbauten, Tunnelanlagen usw. solchen Stellen möglichst aus dem Wege gehen. Ohne gründliche Voruntersuchungen kann es leicht geschehen, daß man erst während des Baues auf die Schwierigkeiten gerät.

Verschüttete Talrinnen, Talverlegung.

Es ist eine sehr häufige Erscheinung in glazial ausgearbeiteten Tälern, daß an manchen Stellen die alte voreiszeitliche Talrinne vom Gletscher mit Moränenmaterial zugestopft wurde und daß sich der ja wesentlich vom Wasser

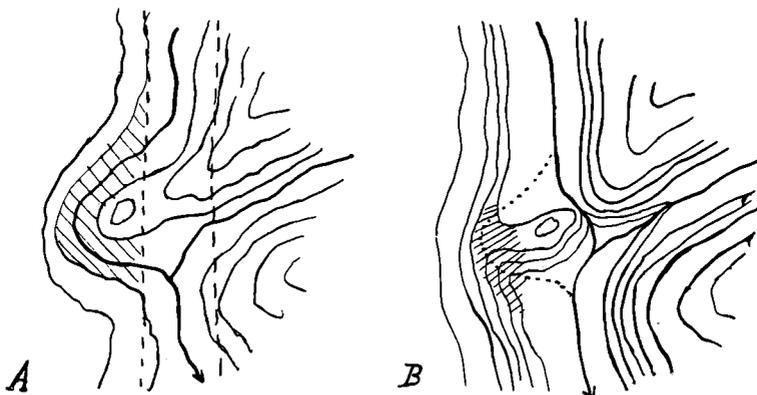


Abb. 6.

Beispiel der Entwicklung einer Talstufe mit Riegelberg und verschütteter voreiszeitlicher Talrinne. A voreiszeitlicher Zustand. Gestrichelt: Gletscherbettverlauf, Schraffen: außer Betrieb gesetztes Talstück. B nacheiszeitlicher Zustand. Punkte: früherer Lauf des Wassers, Schraffen: verschüttetes Tal.

verschieden arbeitende Gletscher an anderer Stelle sein Bett grub; dieses wurde dann nach dem Rückzug des Gletschers auch vom Wasser benützt. Mit der Zeit, während sich das neue schluchtförmige Tal im verlassenen Gletscherbett bildet, kann auch die voreiszeitliche Talfurche allmählich ausgeräumt werden. Ein Riegelberg bleibt dann im Tale stehen, der allenfalls von einer folgenden Eiszeit noch besonders herausgearbeitet werden kann. Öfter ist aber die Ausräumung der alten Furche noch nicht weit vorgeschritten, sie gibt sich dann nur in einer Einsattelung in dem das Tal überquerenden Riegel zu erkennen. Die Verschüttung voreiszeitlicher Talfurchen und die Verlegung des Abflusses kann aus verschiedenen Ursachen erfolgen; einer der häufigsten Fälle dürfte wohl der sein, daß die Gletscher in ihrem Bestreben den kürzesten Weg zu nehmen, das vorgeformte, gekrümmte Flußtal gerade streckten, indem sie die Riedel zwischen den Krümmungen oder die Sporne zwischen Haupt- und Nebental abschnitten (Abb. 6 und 7).

Wir wollen uns auch hier nicht weiter mit der Frage der Entstehung dieser Erscheinungen befassen, sondern gleich ihre Auswirkung auf Bauanlagen betrachten.

Die Querriegel in den Tälern mit ihren meist engen Auslässen, der Umstand, daß sich vom Riegel talaufwärts meist ein flaches Talstück erstreckt, während talabwärts eine Gefällsstufe folgt, das alles lädt förmlich den Wasserkraftbauer zur Anlage eines Speicherbeckens für eine Kraftanlage ein. Das Vorhandensein einer voreiszeitlichen verstopften Talrinne kann das Projekt jedoch zu Falle bringen, wenn die geologische Untersuchung und Schürfungen zeigen, daß die Rinne mit ihrer Schutt-Erfüllung tief hinab reicht. Denn ein größerer Stau, der große Wasserdrücke zur Folge hat, schließt in diesem Falle immer die Gefahr ein, daß durch die alte Talrinne infolge Sickerungen



Abb. 7.

Das untere Kapruner Tal auf der Nordseite der Glocknergruppe. Blick talauswärts. Rechts oben bei S zeigt die Schulter den Ansatz des Flachreliefs im 2000-Meter-Niveau; im Hintergrund stimmt mit ihm überein die Kammhöhe der Kitzbühler Alpen. Bei R Riegelberg, links von ihm der heutige Taleinschnitt, rechts das verschüttete alte Tal. Die Fläche M ist eine Eckflur links am Ausgange des Kapruner Tales, etwa 300 m über dem Salzachtal; sie ist mit Eiszeit-Moräne bedeckt. Aufnahme: Piloty.

wesentliche Wassermengen dem Stau verloren gehen. Ist aber die Rinne bis nahe oder gar vollständig auf die alte Felssohle ausgeräumt (letzterer Fall trifft zum Beispiel bei der Grimselsperre zu), dann liegt natürlich keine grundsätzliche Schwierigkeit vor, es ist nur eine Frage der Berechnung, ob sich nach künstlicher Ausräumung die Errichtung einer zweiten Sperre zur Abriegelung der außer Betrieb befindlichen, alten Talrinne neben der heute entwässernden lohnt.

Es kann vorkommen, daß das Vorhandensein von verschütteten Talrinnen in der topographischen Karte und auch in der Natur, wenn nicht besonderes Augenmerk auf derartige Erscheinungen gelenkt wird, sich gar nicht ausprägt. Es ist der Fall denkbar, daß bei Außerachtlassung von Untersuchungen beispielsweise eine Druckrohrleitung gerade an der Stelle des Hanges projiziert

wird, an der kein anstehender Fels, sondern der, die alte Talfurche ausfüllende Schutt liegt, oder der Fall, daß ein Stollen oder Tunnel im Verlaufe der alten verschütteten Talrinne geplant wird. Solche Projekte wird die geologische Untersuchung ad absurdum führen. Daß auch Verkehrsanlagen in solchen Fällen sehr unliebsame Überraschungen erleben können, bedarf keiner näheren Ausführung.

Die gewaltige Aushobelung der Hochgebirgstäler durch die eiszeitlichen Gletscher, die dadurch bedingte „Übertiefung“ gegenüber dem vom Wasserschurf erzeugten Normalrelief, bringt es mit sich, daß manche Talstrecken nach dem Rückzug der Gletscher eine ganz außerordentliche Aufschotterung erfahren haben, um das Talgefälle wieder auszugleichen. Daß diese riesigen Schuttauffüllungen mancher Täler nicht richtig eingeschätzt werden, hat beispielsweise beim Bau der Lötschbergbahn zu einer großen Katastrophe geführt und das Verlassen der begonnenen Trasse nötig gemacht. Die Projektierung von Unterführungen glazial ausgearbeiteter Täler ohne vorhergehende geologische Untersuchung ist daher unbedingt abzulehnen.

Wir sehen aus allen diesen Beispielen, daß sich der Techniker, sobald er sich in das eiszeitlich aus- und umgestaltete Hochgebirge begibt, vor eine Reihe ihm nicht geläufiger geologischer Fragen gestellt sieht, daß manche Tücke der Hochgebirgsnatur den am grünen Tisch gefaßten Plan über den Haufen werfen kann. Dauernde Berücksichtigung der geologischen Verhältnisse im Hochgebirge — schon im Projektstadium! — wird den Techniker vor Enttäuschungen, Arbeitsvergeudung und unnötigen Kosten bewahren. Das Tauernwerk der A. E. G. hat beispielsweise in dieser richtigen Erkenntnis neben gründlichen hydrologischen, meteorologischen und biologischen Studien auch dauernde geologische Beratung bei der Ausarbeitung des Projektes einbezogen. In vorbildlicher Weise wird hier ein technisches Projekt auf den mit allen Mitteln moderner Forschung gewonnenen naturwissenschaftlichen Grundlagen aufgebaut.