

Ü B E R

THALBILDUNG.

VON

DR. FERDINAND LÖWL,

PRIV.-DOC. DER GEOGRAPHIE AN DER DEUTSCHEN UNIVERSITÄT PRAG.

PRAG 1884.

VERLAG VON H. DOMINICUS.

INHALT.

Erster Abschnitt. Faltenthäler. Grundformen der Faltenthäler 2. Symptagma und Anarregma 3. Profil des Schweizer Jura 4. Südabdachung der Hohen Tauern 5. Defereggenthal und Hochgallstock 6. Gebirgsbau des Westflügels der Hohen Tauern 8. Ahren- und Reinthal 10. Wielenbach und Antholz 11. Querthal von Taufers 11. Pfitscher Schiefermulde 12. Zemmthal 14. Folgerung 14. Heteroptygmatische Thäler 15. Aussenrand der Westalpen 15. Donauthal 16. Senke von Austerlitz und Mährische Pforte 17. Garonne-Becken. 17. Hindostan 18. Wei-Thal 18.

Zweiter Abschnitt. Spaltenthäler. Mechanismus der Spaltenbildung 19. Daubrée's Versuche 20. Spaltenwurf und Thalbildung 21. Norwegen 21. Harz 22. Bruchlinien der Südalpen 24. Piaveschlucht 25. Querthal von Santa Croce 26. Kataklassen und Paraklassen 26. Spaltenthäler der Westalpen 27. Bikataklassen 29. Leinethal 29. Oberrheinthal 30. Falkenau-Elbogner Becken 34. Structur des mittleren Egerthales 35. Maros-Aluta 41. Vulcanische Kataklassen 41. Spalte von Kaschau 42. Wetterau 42. Ringkataklassen. 42. Rückblick 43.

Dritter Abschnitt. Denudation und Erosion 44. Leistungen der Erosion in kurzen Zeiträumen 45. Schätzung der Erosion nach der Geschiebeablagerung 47. Meteorologischer Factor der Thalbildung 48.

Vierter Abschnitt. Entwicklungsgeschichte der Erosionsthäler. Das Elbesandsteingebirge 50. Canaltypus der Erosionsthäler 53. Trichtertypus 53. Furche, Rille, Trichter 53. Morphologie des Trichters 54. Wachsthum der Trichter 55. Kämpfe um die Wasserscheide 57. Ausbildung des Trichters zum Thale 59. Charakter der grossen Querthäler der Alpen 60. Veränderung der Thalwände 61. Einfluss der Schuttabrutschungen und Bergstürze auf die Gestaltung des Thales 62. Dammseen und Dammstufen 63.

Fünfter Abschnitt. Einfluss der Gesteine und ihrer Lagerung. Thalbildung in verkarsteten Kalkregionen 66. Thalbildung im Löss 63. Uebereinstimmung der Thalformen in verschiedenen

Felsarten 70. Erosion in horizontalen Straten von ungleicher Härte 71. Thalformen in dislocirten Schichtencomplexen 73. Tektonische Thalstufen 74. Riegel-Theorie 76. Einfluss der verschiedenen Widerstandsfähigkeit der Gesteine auf die Gestaltung der Thälwände 80. Terrassenbau des Antholzer Thales 81. Die Stufen des Schwarzenstein- und Schleieisengrundes 82. Folgerung 83.

Sechster Abschnitt. Verschiebungen der Strandlinie und Gebirgsbildung. Gehäng- oder Lateralt errassen 84. Periodisches Erwachen der Erosion 85. Hebung des Landes oder Rückzug der Strandlinie 86. Heim's Theorie der Stufenbildung 87. Erosion und Gebirgsbildung 90. Powell, Tietze, Medlicott 90. Discussion ihrer Theorie 92. Donauthal zwischen Bazias und Kladowa 93. Rheinthal in der Devonischen Scholle 94. Querthäler der Appalachian Mountains 95. Iskerthal 96. Mechanische Unmöglichkeit einer Concurrenz zwischen Erosion und Faltung 97. Entstehung der Durchbruchsthäler 99. Salzach und Enns 100. Ältere Thalböden der Aar, des Val d'Entremont und des Trient 103. Schlussfolgerung 104. Längenthal von Buccari 105. Ablenkung der Wasserläufe im norddeutschen Tieflande 108.

Siebenter Abschnitt. Klima und Thalbildung. Relief einseitig bewässerter Gebirge 111. Querthäler in Shansi 112. Durchbrüche im Himalaia 114. Gebirgsumrandung von Iran und Kleinasien 115. Thalbildung in regenarmen Gebieten 117. Coloradoplateau 118. Bedingungen der Cañonbildung 122. Einfluss der Gletscher auf die Entwicklung der Thäler 123. Glaciale Erosion 124. Tyndall's Theorie 125. Botner 126. Sackthäler 127. Abhängigkeit der glacialen Erosion von der Gestaltung der Thäler 129. Locale Steigerung der glacialen Erosion, Seebildung 131.

Berichtigung.

S. 1. Z. 7 v. u. lies: wider statt wieder.

S. 7. Z. 8 v. o. „ mich „ auch.

Die Rindenbewegung der Erde und der zerstörende Einfluss des Dunstkreises sind die beiden Factoren, aus deren Kampfe das Relief unseres Planeten hervorging. Der Spalten- und Faltenwurf zeichnete in grossen Zügen die senkrechte Gliederung der Erdkruste vor. Dem Wasser und seinen Verbündeten aber fiel die Aufgabe zu, im Wettstreite mit jener tellurischen Kraft die Ausgestaltung des Reliefs im Einzelnen durchzuführen. Ihre wichtigste Leistung ist die Erosion der Thäler.

Unter jenen Furchen, die in Tafellandschaften und in die verfallenen Ruinen alter Kettengebirge einschneiden, sind weitaus die meisten rein erosiven Ursprungs. Nur in Regionen, die erst in jüngerer Zeit von einer nicht allzu energischen Faltung ergriffen wurden, spiegelt sich der ursprüngliche Bauplan jetzt noch in der Anordnung der orographischen Elemente, in dem Verlaufe der Thäler und Kämme wieder. Alle Thalfurchen, deren Gefüge zu dem Schlusse berechtigt, dass sie durch Schichtenstörungen hervorgerufen wurden, nennt man:

Tektonische Thäler.

Sie lassen sich theils auf Faltungen theils auf Brüche zurückführen. Man kann daher im Allgemeinen 2 Kategorien, Falten- und Spaltenthäler, unterscheiden.

Faltenthäler.

Aus dem Mechanismus der Faltung gehen unmittelbar Gewölbe und Mulden hervor. Die Mulden stellen demnach die einfachste Form tektonischer Thäler dar. Wirkten die gebirgbildenden Kräfte mit solcher Energie, dass die emporgetriebenen Gewölbe längs ihrer Rückenlinie aufgesprengt wurden, dann gesellt sich den Mulden noch eine zweite Thalform zu: die parallelen Ketten des Gebirgs werden durch syncline und antikline Längenfurchen geschieden.

Die Verdrängung längst eingebürgerter Termini erregt immer Bedenken. Doch die Bezeichnungen „synklin“ und „antiklin“ decken ihre Begriffe so unvollkommen, dass ich nicht umhin kann, sie durch andere zu ersetzen. Ihre Unzweckmässigkeit ist bald nachgewiesen. Erstens tragen sie der Entstehung der Thäler keine Rechnung, sondern bezeichnen nur den architektonischen Charakter derselben. Jedes alte Faltengebirge, das durch Denudation erniedrigt oder durch die Brandung eines vordringenden Meeres in ein Abrasionsplateau verwandelt und nach seiner Trockenlegung neuerdings erodirt wurde, ist von zahlreichen secundären Längenthälern durchfurcht, deren Entstehung nur dem Wasser zugeschrieben werden darf. Ein schlagendes Beispiel liefert die Devonscholle zwischen Bingen und Bonn. Alle jene Längenfurchen, deren Drainage durch die Bildung des Rheinthalles eingeleitet wurde, verdanken ihre Entstehung ausschliesslich der Erosion, wenngleich das Gefüge der Seitenwände sie in die Kategorie der tektonischen Thäler verweist.¹⁾ Die gebräuchlichen Bezeichnungen syn- und

¹⁾ Vergl. Richthofen, China, II. 776 und Schneider, Studien über Thalbildung aus der Vordereifel. S. 15.

antiklin lassen sich daher nicht allein auf wahre Falten-thäler sondern auch auf pseudotektonische Erosionsfurchen anwenden.

Dazu kommt noch ein zweites Bedenken. Der Tangentialschub, der die Falten aufwirft, wirkte in vielen Gebirgen so intensiv, dass einzelne Sättel und Mulden ganz zusammengepresst, ja sogar in der Richtung des einseitigen Druckes überstürzt wurden. Wie die allbekannten Profile durch den St. Gothardt, den Mont Blanc und durch andere Gebirgskerne der Alpen zeigen, nehmen die Synkline unter solchen Verhältnissen bald eine anti-, bald eine isokline Schichtenstellung an. Man muss demnach, so oft von einem synklinen Thale die Rede ist, stets noch hinzufügen, ob man es mit einer wahren Synklinale oder mit einer isoklinen oder antiklinen Mulde zu thun hat. Die besprochenen Termini sind also in genetischer Hinsicht zu weit, in architektonischer zu eng. Ich lasse sie ganz fallen und werde die Längenfurchen, die aus einer muldenförmigen Zusammenfaltung der Schichten hervorgingen, symptygmatische, jene aber, welche in geborstenen Gewölben verlaufen, anarregmatische Thäler nennen.

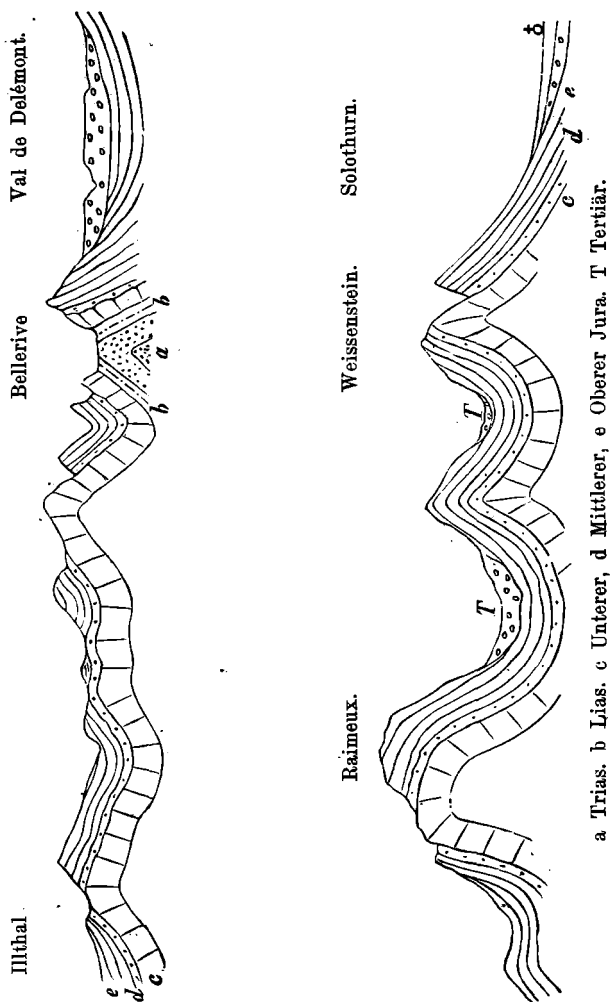
Die trefflichsten Typen liefert der klassische Gebirgsbau des Schweizer Jura. Das Profil Solothurn-Delsberg-Illthol, welches ich Greppin's Abhandlung über den Jura entnehme, macht jede Erläuterung entbehrlich.¹⁾

Die symptygmatischen und anarregmatischen Längenfurchen werden in der Regel als die verbreitetsten Formen der tektonischen Thäler hingestellt. Man käme aber doch einigermaßen in Verlegenheit, wenn man aufgefordert würde, noch eine Reihe von Gebirgen zu nennen, deren Thalbildung mit jener des Jura übereinstimmte. Alle Regionen, in deren energischem Faltenwurfe sich eine Steigerung des Tangentialschubes äussert, lassen die regelmässige Anordnung der tektonischen Thäler vermissen. Ihre Oberflächengestaltung

¹⁾ Greppin, Essai géologique sur le Jura Suisse. Fig. 4.

verläugnet nicht selten jedwede Abhängigkeit vom Gebirgsbaue. Spricht ja doch Heim auf Grund seiner Forschungen

Fig. 1. Profil durch den Jura.



in der Schweiz geradezu die Ansicht aus, dass die Thäler und zwar auch die grossen Längenthäler der Alpen lediglich durch das rinnende Wasser ausgegagt wurden und dass

der Einfluss der architektonischen Verhältnisse darauf beschränkt blieb, der Erosion ihre Wege im Streichen leicht zerstörbarer Schichtenreihen vorzuzeichnen.¹⁾

Sehen wir nun zu, ob sich Heim's Annahme in ihrer allgemeinen Fassung aufrecht erhalten lässt. Ich untersuchte, um für die Discussion dieser Frage einige Anhaltspunkte zu gewinnen, die Thalbildung auf der Südseite der Hohen Tauern, einem überaus instructiven Terrain.

Das ganze Gebirge zwischen der Rienz auf der einen und dem Rande der Venediger und Zillerthaler Gneissmasse auf der anderen Seite besteht aus dicht an einander gepressten Falten, an deren Zusammensetzung sich Granite, Gneisse und die Gesteine der Schieferhülle theilnehmen. Der östliche Abschnitt zeichnet sich noch durch ruhige Lagerungsverhältnisse aus. Längs des Meridians von Innichen oder von Sillian z. B. folgen normal gestaltete Sättel und Mulden auf einander. Erst das nördlichste Gewölbe wurde am Rande des Venedigerstockes gestaut und nordwärts überstürzt.

Die wichtigste Structurlinie dieser verhältnissmässig sanft gefalteten Region ist das grosse Deferegger Längenthal. Es fällt mit dem Aufbruche der Hauptfalte zusammen und stellt daher ein ausgesprochenes Anarregma dar. Die Erosion allein hätte nie eine meilenlange Rinne längs der Rückenlinie jenes gewöhnlichen, antiklin gestellten Sattels ausspülen können.

Die Sohle des Thales ist in Granit eingeschnitten. Im Hangenden folgt an beiden Seitenwänden zunächst eine Bank von flaserigen Gneissen und hierauf der Glimmerschiefer, dessen Schichtenköpfe hie und da in steilen Wänden abbrechen. Wandert man von St. Jakob thaleinwärts, so kann man wahrnehmen, dass die Grenze zwischen dem Granite und den krystallinischen Schiefern an den Gehängen

¹⁾ Heim, Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung. I. 279.

waltigen Aufbruchswelle des Hochgallstockes empor. Das Deferegger Anarregma erreicht hier sein Ende. Die obersten Verzweigungen des Thales sind nur erosiven Ursprungs. So hat die Steigerung des seitlichen Druckes, die sich in der Aufthürmung des Granitmassivs offenbart, unmittelbar zur Folge, dass sich die tektonische Längenfurche in aller Form auskeilt. Die Parallelprofile Fig. 3 und 4 entheben auch jeder weiteren Erklärung.

Fig. 3. Profil des oberen Defereggenthales.

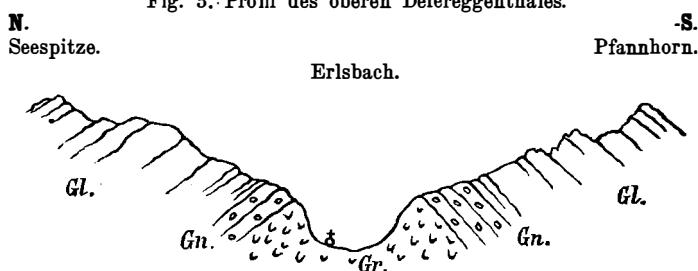
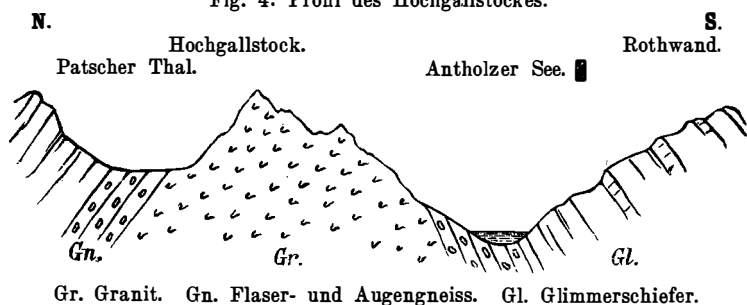


Fig. 4. Profil des Hochgallstockes.



Gr. Granit. Gn. Flaser- und Augengneiss. Gl. Glimmerschiefer.

Der nächste Durchschnitt, Fig. 5, veranschaulicht den Gebirgsbau des ganzen Westflügels der Hohen Tauern längs der Linie Olang-Steinhaus-Maierhofen. Unter der Phyllitzone des Pusterthales wölbt sich zunächst eine Antiklinale von massigem Gneiss empor, der ebenso wie der Granit des Hochgallstockes und der Centralgneiss der Zillerthaler Alpen von Flaser- und Augengneissen überlagert wird. Die letzte Abart bildet im Vereine mit dem Glimmerschiefer, in den

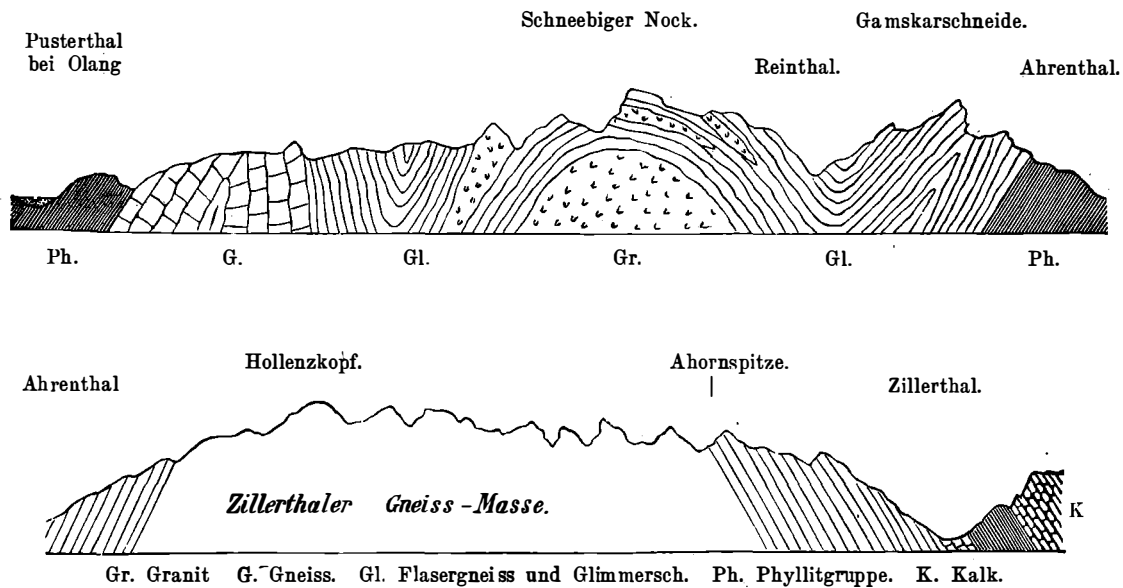


Fig. 5. Profil durch den Westflügel der Hohen Tauern.

sie übergeht, eine enge Mulde, deren Nordschenkel sich an die Hochgall- oder Antholzer Masse anlehnt. Schon am Hochhorn, westlich von Mitterthal in Antholz, stoßen wir auf Granit. Da zwischen ihm und dem eigentlichen Hochgallstocke noch eine südwärts einfallende Schichtenreihe von Glimmer-, Hornblende- und Chloritschiefer eingeklemmt ist, fasste ich ihn als eine secundäre, in der Druckrichtung überschobene Falte auf.¹⁾ Teller aber, der die Antholzer Masse in ihrer ganzen Ausdehnung durchforschte, fand den Granit auf das innigste mit der Schieferhülle verknüpft. Er zeigte, dass in der Randzone überall mehr oder weniger mächtige, allseitig auskeilende Granitlinsen zwischen die Schichten der Flasergründe und der älteren Schiefer eingeschaltet sind und dass selbst der ansehnliche Granitzug von Mitterthal nur eine solche lenticuläre Schliere darstellt.²⁾

Sieht man von den Einzelheiten ab, so erscheint der Antholzer oder Rieserferner-Kamm als ein Gewölbe mit granitischem Kern. Nur im Gebiete des Schneeigen Nock und der übrigen Geltthaler Berge taucht der Granit unter den Schiefermantel. Gegen Westen und Osten ragt er in kühnen Gipfelbauten frei empor.

Im oberen Reinthale, auf der Nordseite des Antholzer Gebirgskernes, ist der Glimmerschiefer muldenförmig zusammengefaltet; in dem hohen Scheiderücken zwischen dem Rein- und dem Ahrenthale aber wurde er in einem überstürzten Sattel auf die Aequivalente der Pusterthaler Phyllitzzone, die durch Serpentin- und Kalklager charakterisirten jüngeren Schiefer hinaufgeschoben. Die südlichen Tauernketten erlitten demnach hier ebenso wie im Virgenthale eine gewaltsame Stauung durch die vorliegende Gneissmasse. Jenseits des Ahrenthales durchschneidet unser Profil den Wall der Zillerthaler Alpen, ein aufrecht stehendes Gewölbe

¹⁾ Jahrbuch der Geolog. Reichsanstalt. 1881. S. 446.

²⁾ Teller, Ueber die Aufnahmen im Hochpusterthale. Verhandl. der Geol. Reichsanstalt. 1882. S. 344.

von Centralgneiss, dessen Schieferhülle steil gegen Süden und Norden abfällt.

Der ganze Gebirgskörper zwischen der Rienz und dem Ziller besteht also aus vier Falten. Im Bereiche der ersten wurden nur Erosionsfurchen — der Gsieser, Antholzer und Wielenbachgraben — ausgehöhlt. Das zweite Gewölbe erhebt sich im Streichen des Deferegger Anarregmas und bildet daher den Abschluss dieses tektonischen Längenthales. Erst das dritte scheidet zwei Rinnen, welche der Structur ihrer Seitenwände den Charakter von Falten- u. z. von Mulden-thälern verdanken. Doch eine genauere Untersuchung nimmt ihnen diesen Rang wieder ab. Das Ahrenthal ist von Kasern bis Luttach an die Grenze zwischen dem Centralgneiss und der Phyllitzone gebunden, und ebenso verläuft auch das Reinthal in seinem unteren Abschnitte nicht im Kerne der zusammen gedrückten Schiefermulde sondern längs des Randes der Granitwelle von Antholz. Schon dieses Abweichen von der Mittellinie der Mulden muss Bedenken erregen. Da aber überdies noch in beiden Thälern die untrüglichen Spuren der Erosion in den hoch über dem gegenwärtigen Rinnsale fortlaufenden Gehängterrassen erhalten blieben, ist ihre Ausspülung durch das Wasser jedem Zweifel entzogen. Sie dependiren mitsammt ihren Gegenthälern, dem unteren Weissenbach- und dem Mühlwalder-Thale, von der transversalen Tauferer Erosionsfurche, welche bei Luttach, am Rande des grossen Zillerthaler Gebirgskernes beginnt und von hier aus sämtliche Falten der südlichen Tauern durchbricht. Die Bedeutung dieses Querthales ergibt sich ohne weiteres aus einer vergleichenden Betrachtung seiner Nachbarn.

Fünf Kilometer östlich von Bruneck mündet der Wielenbachgraben, eine schmale, unverzweigte Rinne, die bis zum Granitgewölbe des Rieserfernerkammes zurückgreift. Das nächste Querthal ist das von Antholz. Es steigt ebenso wie der Wielenbachgraben zum Hochgallstocke hinan, zerschlägt sich aber am Rande desselben in einige Seitenthälchen.

Das längste unter ihnen, welches den prachtvollen Antholzer See birgt, stürzt unter energischer Stufenbildung von der Wasserscheide gegen Deferegggen, vom Stallersattel, herab. Obzwar es sich durchweg an die Grenzlinie zwischen dem Granite und seinem Schiefermantel hält, ist es doch nur eine pseudotektonische Schöpfung der Erosion. Niemand wird diesem unentwickelten Graben ein höheres Alter beilegen als der breiten Quersfurche des unteren Antholzer Thales. Es zeigt sich vielmehr auf den ersten Blick, dass die letztere durch ihre rückwärts fortschreitende Vertiefung die Entwicklung der Seitenthälchen anbahnte und beherrscht.

Nun vergleiche man auf dem geognostischen Uebersichtskärtchen den Verlauf des Antholzer mit dem des Tauferer Thales. Das Mühlwalder- und Weissenbach-, das Rein- und Ahrental spielen ganz und gar die Rolle des kleinen isoklinen Scheidethälchens im obersten Antholz. Auch sie sind jünger als das Stammthal, auch ihre Ausbildung wurde durch die Erosion einer transversalen Rinne eingeleitet. Der Tauferer Bach schnitt von seiner Mündung her immer tiefer in den Gebirgskörper der Hohen Tauern ein und befähigte dadurch seine Zuflüsse, in den leicht zerstörbaren Schieferzonen, welche durch die Faltung zwischen die harten Gneiss- und Granitkerne eingekeilt wurden, tiefe Längenfurchen auszugraben. Die bekannten Ansichten Juckes' und Rütimeyer's über die Entstehung der Durchbruchsthäler erhalten in diesem concreten Falle eine glänzende Bestätigung.¹⁾

Wie der Tauferer Drainirungscanal im Gegensatze zu seinen östlichen Nachbarn, dem Antholzer und Wielenbachthale, bis zum Abfalle der grossen Zillerthaler Gneissmasse zurückgreifen konnte, darüber gibt uns die Anordnung der südlichen Granitkerne einen befriedigenden Aufschluss. Die Antiklinale des Hochgallstockes, die sich im O. aus der Tiefe des Defereggenthalles erhebt, sinkt im W. jäh in das Tauferer Becken hinab und findet erst jenseits desselben

¹⁾ Rütimeyer, Ueber Thal- und Seebildung. S. 69.

in dem Gewölbe des Brixener Granits ihre Fortsetzung. Die Aushöhlung und retrograde Verlängerung des Querthales, welches gerade in die mit weichen Schiefern ausgefüllte Lücke zwischen den beiden Gebirgskernen eingeschnitten ist, konnte daher weit rascher vor sich gehen als die des Wielenbach- oder Antholzer Thales, deren Entwicklung durch den gewaltigen Hochgallstock gehemmt wurde.

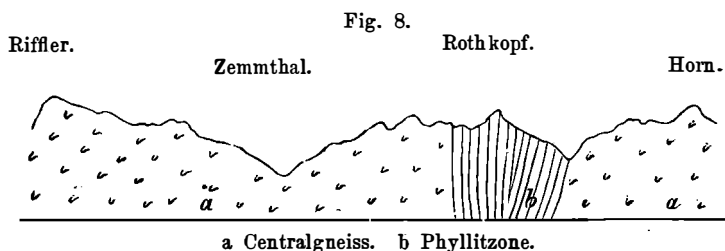
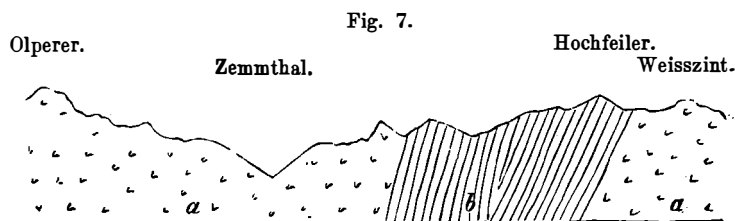
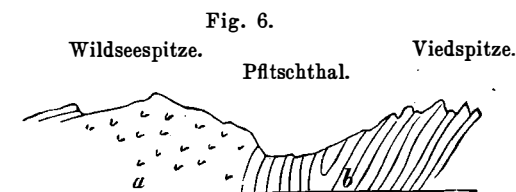
Im W. von Taufers wird die Architektonik der Hohen Tauern nach den Aufnahmen Tellers von der Brixener Granitmasse im S. und dem Zillerthaler Gneisswalle im N. beherrscht. ¹⁾ Die Schieferhülle dieser beiden Kerne erlitt die gewaltsamsten Störungen. Sie wurde wie zwischen den Backen eines Schraubstockes zusammengedrückt und gefaltet. Die Schichten sind überall steil aufgerichtet, mitunter sogar auf weite Strecken hin völlig überstürzt. Tektonische Thäler fehlen. Das Gebirge wird nur von erosiven Querthälern durchschnitten, unter denen eines, das Pfunderthal, bis zum nördlichen Gneissmassive hinansteigt.

Erst das Pfitscher Thal, welches aus dem Sterzinger Kessel in n. ö. Richtung zum Hochfeiler, dem culminirenden Gipfel der Zillerthaler Alpen, emporzieht, erhebt wieder auf den Charakter einer tektonischen Längenfurche Anspruch. Im unteren Abschnitte bricht es allerdings quer durch die Schieferzone; oberhalb Ried aber fällt seine Sohle genau in jene schmale Zunge krystallinischer Schiefer, die sich von S. W. her zwischen die zwei Gneissantiklinalen der Zillerthaler Masse einzwängt.

Das Profil Steinhaus-Maierhofen (Figur 5.) gestattete uns noch keine Gliederung dieses ungeheueren Gebirgskernes. Aber schon längs des Durchschnittes Lutlach-Hornspitze-Riffler löst sich das Gewölbe, wie ich bereits bei einer anderen Gelegenheit nachwies, in zwei Gneiss-sättel auf, die durch einen synklin eingeklemmten Schiefer-

¹⁾ Verhändl. der Geolog. Reichsanstalt. 1882. S. 241.

lappen von einander getrennt werden.¹⁾ Man findet da vielfach alternirende Glimmer-, Hornblende-, Chlorit- und Talkschiefer, welche Serpentinlager umschliessen und der



Phyllitgruppe des Tauernzuges einzureihen sind. Sie lassen sich aus dem Floitenthale quer durch den Schwarzenstein- und Schlegeisengrund bis nach Pfltsch verfolgen und greifen hier, nachdem sie sich allmählich in gewöhnliche, mitunter chloritische Urthonschiefer verwandelt haben, auf beiden Seiten über die Schranken des Centralgneiss hinweg. An der Viedspitze, der Rübespitze und der Thorwand lässt sich diese schalenförmige Auflagerung sehr deutlich beobachten.

¹⁾ Jahrb. der Geolog. Reichsanstalt. 1881. S. 451. Vergl. auch Teller a. a. O.

Die Schichten fallen von der Höhe des Scheiderückens zwischen Pfitsch und Pfunders mit zunehmender Steilheit zur Thalsohle ab. An dem gegenüberliegenden, nördlichen Gehänge aber ist der Gneiss der Wildseespitze und des Kraxenträgers auf den Phyllit und seine Kalklager hinaufgeschoben. Das obere Pfitscherthal fällt daher mit einer südwärts überstürzten Synklinale zusammen; es ist, so erfolgreich die Erosion in seine Aushildung eingriff, der ursprünglichen Anlage nach ein Symptygma.

Der Verlauf dieser tektonischen Senke berechtigt zu ähnlichen Schlüssen wie der des Deferegger Anarregmas. Wo der Tangentialschub an Kraft zunahm und die beiden Gneisswellen bis zu den Höhen des Weisszint und Mösele, des Schrammacher und Olperer emportrieb, dort wurde die Pfitscher Schiefermulde so arg zusammengepresst, dass sich ihr Kern, statt eine Thalrinne zu bilden, zu dem gewaltigen Felsgerüste des Hochfeiler (3506^{m.}) aufthürmt und auch weiter gegen N. O. eine hohe, vom Schlegeisen-, Schwarzenstein- und Floitengrunde durchbrochene Bergreihe zusammensetzt. Das Symptygma des Pfitscher Thales wurde demnach durch die Steigerung des Gebirgsschubes gleichsam unterbunden. Seine orographische Fortsetzung, das Zemmthal, durchschneidet vom Pfitscher Joche bis hinab in den Kessel von Maierhofen in diagonalen Richtung den nördlichen Gneisskamm. Es ist eine reine Erosionsfurche. Die Structur seiner Seitenwände lässt weder auf einen Bruch noch auf eine horizontale Verschiebung schliessen.¹⁾

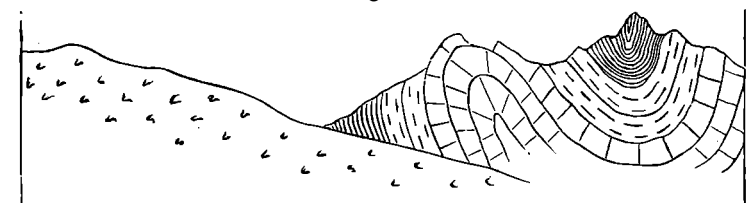
Die Beobachtungsreihe, die ich im Vorhergehenden mittheilte, führt zu folgendem Gesetze: Die symptygmatischen und anarregmatischen Thäler sind auf mässig gefaltete Regionen beschränkt. Ein intensiver Seitendruck zerstört die normale Anordnung der tektonischen Tiefenlinien. Er verwandelt die Anarregmas in hohe Aufbruchswellen und

¹⁾ Löwl, a. a. O. 452.

die Mulden in synkline Bergketten. Mit dieser Umformung geht die Alleinherrschaft der Erosion Hand in Hand.

In polygenetischen Gebirgssystemen¹⁾ entfernen sich die einzelnen parallelen Falten und Faltenbündel oft soweit von einander, dass ihre Intervalle zu breiten Senken anwachsen, die man trotz ihres rein symptygmatischen Charakters nicht mehr als Täler bezeichnen kann. Hieher gehört z. B. das grosse Californische Becken zwischen der Sierra Nevada und der Küstenkette, die Schweizer Hochebene zwischen den Alpen und dem Jurazuge, die Poebene u. a. — Eine eigene Kategorie bilden dagegen jene Faltenthäler, welche an die Grenze zwischen alten Massiven und Kettengebirgen gebunden sind. Sie gingen zumeist

Fig 9.



Querprofil eines heteroptygmatischen Thales.

aus der Stauung hervor, welche jüngere Faltensysteme so häufig an festen Widerlagen erfahren.²⁾ Längs des Aussenrandes der Alpen zieht sich eine ganze Reihe solcher heteroptygmatischer Thäler hin. Ihre Architektur entspricht im Allgemeinen dem schematischen Profile in Fig. 9. Die eine Thalwand fällt mit dem Rande der stauenden Scholle, die andere mit der Stirnfront des jüngeren Faltengebirges zusammen. Schon die Westalpen sind bei Valence so dicht an den Abfall des französischen Centralplateaus angepresst, dass die Rhone vor ihrem Eintritte in die Provençalische Tiefebene eine verhältnissmässig

¹⁾ Dana. Manual of Geology, 796.

²⁾ Suess, Die Entstehung der Alpen. S. 17 u. folg.

schmale Rinne durchfliessen muss. Die Fortsetzung des unteren Rhonethales bildet die Burgundische Hochebene. Auch sie schiebt sich zwischen zwei grundverschieden gebaute Regionen ein. Auf der einen Seite erheben sich die langgezogenen Falten des Schweizer Jura, auf der anderen aber stürzt das französische Centralplateau, die sanft gegen das Pariser Becken einfallende Jurascholle von Langres und die Wasgau-Masse steil gegen O. und S. ab. Jenseits des Rheines übernimmt die Donaulandschaft zwischen dem Nordsaume der Alpen und dem gegenüberliegenden Bruchrande des Schwäbisch-Baierischen Jura die Rolle der Burgundischen Platte. Sie verengt sich trichterförmig gegen O. und geht endlich in das Donauthal, die grossartigste heteroptygmatische Furche Europas über. Der Strom selbst schneidet allerdings zwischen Straubing und Krems wiederholt in das Urgebirge ein; doch die weite mit marinen Tertiärschichten und mächtigen Geschiebmassen ausgefüllte Senke zwischen den Alpen und der böhmischen Scholle erscheint, in ihrer Gesamterstreckung betrachtet, dem unteren Rhonethal durchaus analog. Um dies zu erkennen, braucht man nur einen der niedrigen Vorberge des Granitwalles im N. von Linz, etwa den Pöstlingberg, zu besteigen. Die Aussicht, die sich hier oben gegen S. erschliesst, lässt die Eigenart des Donauthales in überraschender Klarheit hervortreten. Wie die Wogen eines erstarrten Meeres branden die Falten der alpinen Flysch- und Kalkzone an dem Gestade des uralten böhmischen Festlands. Weiter gegen O., wo das Alpensystem dem Rande der stauenden Urgebirgsscholle folgend nordwärts einschwenkt, hört die Congruenz der geologischen und orographischen Verhältnisse auf. Die Donau verlässt die Senke zwischen den Alpen und dem vorliegenden Massive, um bei Klosterneuburg zunächst die Sandstein- und bei Pressburg auch die krystallinische Zone des Alpenzuges zu durchbrechen. Doch wie das Rosalien-, das Leitha-Gebirge und die Granitinseln von Hainburg die krystallinische Zone der Alpen mit jener der Karpathen

verknüpfen, so schlägt auch der Wiener Sandstein der Korneuburger Hügel und des Marsgebirges im geologischen Sinne eine Brücke von dem alpinen zum karpathischen Flyschzuge. Die tertiäre Niederung zwischen den Linien Korneuburg-Auspitz auf der einen und Krems-Znaim-Brünn auf der anderen Seite ist demnach als die Fortsetzung des Donauthales aufzufassen. Oestlich von Brünn wird diese Grenzregion immer schmaler. Das Marsgebirge und jenseits der March auch die Sandsteinzone der Karpathen sind so nahe an den paläozoischen Rand der Sudetenscholle herangeschoben, dass die Senke von Austerlitz und die historisch so bedeutsame Mährische Pforte wiederum den Charakter eines heteroptygmatischen Thales annehmen. Sie bilden das letzte Glied in der Kette jener tektonischen Tiefenlinien, welche den Aussenrand des Alpensystems begleiten. In Schlesien und Polen konnte es nicht mehr zur Bildung solcher Thäler kommen, weil das wenig oder gar nicht dislocirte Vorterrain äusserst sanft unter die Falten des Karpathenzuges einfällt.¹⁾

Eine grosse Aehnlichkeit mit der Burgundischen Hochebene, der Donaulandschaft und den übrigen Niederungen, welche sich am Nordfusse der Alpen ausbreiten, lässt die allgemeine Anlage des thalförmigen Tieflands der Garonne erkennen. Auch dieses weite Becken verdankt seine Entstehung und seine scharfen Grenzen der Aufthürmung eines jüngeren Faltensystems, der Pyrenäen, im Angesichte des französischen Centralplateaus.

Noch überraschender ist die Analogie, welche die Alpen und der Himalaia an ihrem Aussenrande zeigen. Gestützt auf die Forschungen der Indischen Geologen hat Suess zwischen diesen beiden Gebirgen und auch zwischen ihren stauenden Widerlagen eine ebenso geistvolle als lehrreiche Parallele gezogen. Wie die Geosynklinale der Ostalpen am Rande eines Massivs empor gefaltet wurde, in dessen lückenhafter Formationsreihe eine reiche und

¹⁾ Suess, a. a. O. 22.

wechselsvolle Geschichte niedergeschrieben ist, so drang auch der Himalaia gegen das uralte Festland der Indischen Halbinsel vor.¹⁾ Der vom Ganges durchströmte Tieflandstreifen Hindostans entspricht daher im Allgemeinen dem Donauthale zwischen Linz und Krems.

Doch starre Erdschollen und Faltensysteme stehen zu einander nicht durchweg in jener Beziehung, welche Suess zu einem orologischen Gesetze erhob. Im nördlichen China stossen, wie Richthofen gezeigt hat, längs des Wéi-Thales zwei ganz heterogene Gebiete zusammen. Im S. erhebt sich die geschlossene Mauer des östlichen Kwenlun, eine Zone energischer Schichtenstörung; im N. dagegen breitet sich das einförmige Tafelland von Kansu und Shensi aus, welches schon am Schlusse der Carbonzeit dem Meere entstieg, seither aber nie gefaltet, sondern ebenso wie Shansi nur von monoklinen Falten und Verwerfungen durchsetzt wurde.²⁾ Die Lössrinne des Wéi stellt demnach den Typus eines heteroptygmatischen Thales dar, obzwar sie sich von den peripherischen Senken des Himalaia und der Alpen wesentlich unterscheidet. Der Seitendruck, welcher den Kwenlun aufthürmte, brach sich nicht an der im N. vorliegenden starren Scholle; das Kettengebirge muss vielmehr von N. her zusammengeschoben worden sein, denn erstens sind die Falten, welche sich dem östlichen Kwenlun in s. w.—n. ö. Richtung anschaaren, sowohl gegen O. abgelenkt, als auch südwärts überstürzt und zweitens erscheinen die eruptiven Massen und die Bruchlinien, welche Richthofen im Fu-niu-shan nachwies, an die Nordseite des Faltensystems gebunden.³⁾

Das Wéithal steht also in einem entschiedenen Gegensatze zu den früher besprochenen Faltenthälern. Es fällt nicht mit dem Aussen- sondern mit dem Innenrande des Gebirgs zusammen. Sein heteroptygmatischer Charakter aber wird dadurch nicht beeinträchtigt.

¹⁾ Suess, a. a. O. 110, 126.

²⁾ Richthofen, China II. 644, 652.

³⁾ Richthofen, a. a. O. 653.

Spaltenhler.

Spalten und Brüche spielen in der Structur der Erdkruste eine ebenso wichtige Rolle wie die Faltung und Stauung der Schichten. Was die Erfahrungen des Bergbaues längst ahnen liessen, das haben die geologischen Aufnahmen grundverschieden gebauter Regionen bestätigt. Je sorgfältiger ein Gebirge erforscht wird, desto entschiedener gelangen in seiner Architectonik neben den gewöhnlichen, leicht erkennbaren Schichtenbiegungen auch einzelne Spalten, mitunter sogar ganze Spaltensysteme zur Geltung. Wer die Entwicklung unserer geologischen Kenntniss von den Westalpen, den Südalpen, den nördlichen Kalkalpen, der böhmischen Scholle, dem Harze und anderen energisch dislocirten Gebieten verfolgt hat, dürfte der Behauptung beipflichten, dass man dem mehr oder weniger gelungenen Nachweise von Spalten unter Umständen einen Massstab für die Genauigkeit der Beobachtung entnehmen darf.

Der Frage nach den Bedingungen und dem Mechanismus der Spaltenbildung ging die Geologie lange Zeit aus dem Wege. Statt das Spaltennetz einer bestimmten Region in seiner Gesammtheit zu erfassen, war sie ängstlich bemüht, jede einzelne Spalte gleich auf eine besondere, örtliche Ursache zurückzuführen. Die Ueberschiebung eines verdrückten Gewölbes längs der antiklinalen Axe, die transversale Zerrung einer Falte in Folge ungleichmässigen Tangentialschubes, endlich die Senkungserscheinungen in Tafellandschaften, die von der Gebirgsfaltung verschont blieben, — das sind die drei dynamischen Factoren, mit denen man zu rechnen pflegte.

Höhere Gesichtspunkte gewann erst Daubrée. Es gelang ihm, in geeigneten Versuchsobjecten durch Druck und durch Torsion Spaltennetze hervorzurufen, welche mit den in der Natur beobachteten nahezu übereinstimmen.¹⁾

¹⁾ Daubrée, Synthetische Studien zur Experimental-Geologie. 230 bis 245.

Gewissenhafte Vergleiche zwischen beiden führten zu dem Resultate, dass in manchen Erdschollen alle Störungen, welche die Continuität der Lithosphäre aufheben, nicht wie man bisher annahm, heterogene sondern wesentlich gleichartige Erscheinungen sind. Gesteinsklüfte, Gangspalten und Bruchlinien weisen so viele gemeinsame Züge auf und erscheinen in ihrer gegenseitigen Anordnung mitunter so entschieden von einem allgemeinen Gesetze beherrscht, dass man ihre Entstehung unbedingt auf eine und dieselbe Ursache zurückführen muss.

Nach Daubrée's Versuchen können sowohl durch jenen Seitendruck, welcher Falten zusammenschiebt, als auch durch eine windschiefe Verbiegung der Schichten Spalten aufgerissen werden. Am häufigsten gibt wohl der zweite Vorgang, die Torsion, zu solchen Zerklüftungen Anlass. Dass sie sich in vielen Theilen der Erdrinde äussert, ist von vornherein mehr als wahrscheinlich, da der Lateralschub, dem wir die Aufthürmung der Gebirge zuschreiben, in unmittelbar benachbarten Regionen nicht selten mit verschiedener Intensität, ja sogar in abweichender Richtung wirkt. An manchen Stellen aber lassen sich die Schichtenverdrehungen nicht allein voraussetzen, sondern auch beobachten. So wurden z. B. in den anscheinend horizontal lagernden Kreideschichten des nordwestlichen Frankreichs von Hebert zwei verschiedene Faltensysteme von ungeheurer Amplitude nachgewiesen.¹⁾ Aehnliche Verhältnisse beherrschen die Structur der Elbsandsteinplatte in Böhmen und Sachsen. Auch hier dürfte sich die regelmässige Zerklüftung des Gebirges als eine Torsionswirkung erweisen, welche aus der Durchkreuzung des sudetischen und des Erzgebirgsstreichens hervorging.

Daubrée führt noch eine Reihe ähnlicher Beispiele an und sucht hierauf den Einfluss der Risse und Klüfte, der „Lithoklasen“, auf das Bodenrelief zu ergründen. Er glaubt, dass die Torsion klaffende Spalten aufriss, deren

¹⁾ Daubrée, a. a. O. 250.

Ursprung nachträglich durch die Arbeit des Wassers verwischt wurde. Die Cañons des Colorado-plateaus, die schmalen Klammern und Thalschluchten der Alpen wie die Via mala und andere, deren erosiver Charakter längst sichergestellt wurde, sollen nur aus Berstungsrisen hervorgegangen sein. Daubrée stellt sich also ganz und gar auf den unhaltbaren Standpunkt der alten Spaltentheorie. Er sagt ausdrücklich: „Dem aufmerksamen Beobachter verräth sich die erste Anordnung der Spalten, obgleich sie durch bedeutende Erweiterungen verändert sind, schon von aussen. Ueberall, selbst in Ländern, wo die Schichten ihre ursprüngliche horizontale Lage bewahrt haben, zeigen die Bodenformen den Reflex unzähliger innerer Spalten, die sich in bezeichnenden Bildern widerspiegeln“. ¹⁾

Dieser Satz birgt in seiner allgemeinen Fassung eine Gefahr für das unbefangene Studium des Reliefs. Wohin er führt, lehrt eine Reihe abschreckender Beispiele. Ich erinnere nur an die schematische Manier, in welcher Kjerulf die Oberflächengestaltung Norwegens darstellt. ²⁾ Da ihm die Voraussetzung, dass sich der Spaltenwurf im Relief widerspiegelt, gegen jeden Einwand gesichert schien, legte er den gegenwärtigen Thalsystemen ohne Bedenken ursprüngliche Spaltennetze zu Grunde und vermochte hierauf natürlich mit leichter Mühe die Abhängigkeit der Bodenconfiguration vom Gebirgsbaue zu veranschaulichen. Die Kartenskizzen Fig. 279 und 280 ³⁾ verrathen die Art seines Vorgehens: Er führt die Thäler auf Spalten zurück, die er aus den Thälern construirt hat. Eine solche Methode leistet keine Gewähr für die Richtigkeit der gewonnenen Resultate. Will man die Beziehungen zwischen den Spalten und den

¹⁾ A. a. O. 284.

²⁾ Kjerulf, Geologie des südl. u. mittl. Norwegen. S. 328—334. Vergl. auch Ztschr. der Ges. für Erdkunde zu Berlin. 1879. S. 129. — Kjerulfs Auffassung wurde sehr bald von Helland widerlegt. Vergl. Ausland 1882. S. 190.

³⁾ A. a. O. 330, 331.

Thälern untersuchen, so verfolge man zunächst die einen und die anderen für sich allein. Dies ist der einzig richtige Weg. Im Harze können wir ihn betreten. Das Gefüge dieses merkwürdigen Gebirgsknotens, der von Alters her die verschiedenartigsten Schichtenstörungen erlitt, wurde erst in neuester Zeit durch die genauen Aufnahmen Lossen's, Kayser's, Groddeck's u. a. klar gelegt. In erster Reihe gebührt Lossen das Verdienst, den Grundplan des ganzen Gebietes entziffert und den darin ausgesprochenen complicirten Mechanismus der Gebirgsbildung erfasst zu haben.¹⁾ Er zeigte, dass der Aufbau des Harzes von zwei einander durchkreuzenden Faltensystemen beherrscht wird. Das eine ist von S. O. her zusammengeschoben und folgt deshalb dem s. w. — n. ö. oder „niederländischen“ Streichen, das andere, jüngere, hingegen verdankt seine Aufstauung einem gegen N. O. gerichteten Lateralschube und stellt demnach einen Ausläufer des S. O. — N. W. streichenden hercynischen Systems dar. Wo der Schub am kräftigsten wirkte, dort wurden aus den zerdrückten Falten granitische Massen emporgepresst: der Brocken und der Ramberg. Die Unterordnung dieser Kerne unter das allgemeine, dem Aufbaue des Harzes zu Grunde liegende Gesetz verräth sich unmittelbar in der Längenerstreckung der Granitmassive und ihrer Contacthöfe. Ein Blick auf Lossen's „Geognostische Uebersichtskarte des Harzgebirges“ lehrt, dass der Brocken dem niederländischen, der Ramberg aber dem hercynischen Faltensysteme angehört. Alle diese Thatfachen rechtfertigen Lossen's Auffassung, in deren Lichte der Harz als „ein windschiefes, elliptisches Massengebirge mit aufgepresstem Eruptivmagma in den dynamischen Brennpunkten“ erscheint.²⁾

Die Durchkreuzung des niederländischen und des hercynischen Faltensystems hatte eine Verdrehung der Schichten zur Folge. Diese rief wiederum Spannungen

¹⁾ Vergl. Ztschr. der deutsch. Geolog. Ges. XXVIII. S. 168; u. Jahrbuch der Preuss. Geolog. Landesanstalt. 1882. S. 4.

²⁾ A. a. O. 21.

hervor, welche nur durch gewaltsame Verrenkungen der Sättel und Mulden sowie durch das Aufreissen von Spalten ausgeglichen werden konnten. Die zahlreichen, mit Gangquarz, mit eruptiven Injectionen oder mit Erzen verstopften Risse und Spalten des Harzes sind demnach als reine Torsionswirkungen anzusehen.¹⁾

Dank den überaus sorgfältigen Untersuchungen Kayser's über das Spaltensystem am S. W. Abfalle des Brockenmassivs²⁾ können wir nunmehr auch der Frage näher treten, ob solche Zerreibungen Thäler schaffen oder dem rinnenden Wasser nur die Wege vorzeichnen oder ob ihnen gar jeder Einfluss auf die Gestaltung des Reliefs abzusprechen ist.

Verwerfungen, horizontale Verschiebungen, weithin verfolgbare Züge von Gangquarz und endlich auch die abweichende Ausbildung des Granits an seiner ursprünglichen Grenze und an Bruchrändern setzten Kayser in den Stand, ein ganzes Netzwerk von Spalten mit der grössten Genauigkeit aufzunehmen. Vergleicht man auf seiner im Massstabe von 1:100,000 entworfenen Karte³⁾ den Verlauf der Spalten mit dem der Tiefenlinien, so zeigt sich sehr bald, dass wohl hie und da ein seichter Graben oder ein Seitenthälchen den Lithoklasen folgt, dass aber die Thalbildung im Allgemeinen vom Gebirgsbaue unabhängig ist. Nur das Oderthal scheint zwischen dem Grossen Teiche und dem Kellwassergraben eine Ausnahme zu machen. Es fällt hier mit einer östlich einschliessenden Spalte zusammen, längs welcher der Hangendflügel nicht allein verworfen sondern auch etwas gegen N. vorgeschoben wurde. Ein solches Kriterium genügte der Theorie bisher unter allen Umständen zur Feststellung des klastischen Charakters einzelner Thäler. Sobald man im Streichen eines Rinnsals irgendwo eine Spalte nachweisen konnte, durfte man sie,

¹⁾ Lossen, a. a. O. 36 u. folg.

²⁾ Jahrb. der Preuss. Geolog. Landesanstalt. 1882. S. 412.

³⁾ A. a. O. Taf. X.

ohne einen Widerspruch befürchten zu müssen, getrost durch das ganze Thal fortlaufen lassen. Spalte und Thal mussten sich decken, und aus dieser räumlichen Uebereinstimmung liess sich dann ohne weiteres ein genetischer Zusammenhang deduciren.

Lossen und Kayser entschlugen sich jener bequemen Voraussetzung. Sie verfolgten die „Oderspalte“ selbst und fanden, dass sie nicht mit der Sohle des Oderthales zusammenfällt sondern streckenweise hoch über derselben fortstreicht.¹⁾ Das Oderthal ist demnach nichts als eine Leistung des fliessenden Wassers. Sein Verlauf längs einer Störungslinie beweist nur, dass diese die Erosion in eine bestimmte Bahn lenkte. Wie die Spalte zur Thalbildung hätte Anlass geben können, bleibt übrigens auch deshalb unerklärlich, weil sie mit einem Ganggesteine, mit Quarz, ausgefüllt ist.

Die grosse, durch den Kellwasser- und Fischbachgraben gegen N. O. streichende „Ackerspalte“ sowie die zahlreichen Risse, welche sich der Oderspalte von S. O. her anschaaren, namentlich aber jene, die den Granitkern des Brockens selbst durchsetzen, spielen in der Oberflächengestaltung eine noch untergeordnetere Rolle als die Spalte des Oderthales.²⁾ Ueberall trägt das Relief die Wirkungen der Erosion zur Schau. Die Störungslinien kommen entweder gar nicht zum Ausdrucke oder sie vermochten im günstigsten Falle nur dem Wasser auf kurze Strecken hin den Weg vorzuzeichnen.

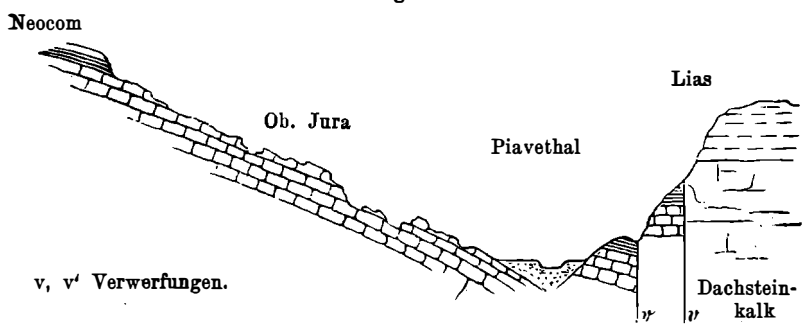
Wählen wir ein anderes Beobachtungsfeld: die südliche Zone der Ostalpen. Hier treten im Gegensatze zu den intensiv gefalteten nördlichen Kalkalpen ausgedehnte Plateaux mit nahezu horizontalen Straten auf, welche durch lange Bruchlinien in parallele Streifen zerschnitten wurden. Da längs jeder Hauptspalte eine Verwerfung des Südflügels stattfand und die einzelnen Plateaustreifen

¹⁾ Kayser, a. a. O. 427.

²⁾ Vergl. a. a. O. Taf. X u. XI.

überdies noch durch transversale Brüche zerstückt wurden, stellt das ganze Gebiet ein Wirrsal gegen einander verschobener und verworfener Schollen dar. Dieses Gefüge lässt sich aber nur aus den Lagerungsverhältnissen erschliessen; im Relief gelangt es höchst selten zum deutlichen Ausdrucke. Man betrachte nur die Profile, welche Mojsisovics in seinem Werke über die Dolomitriffe Südtirols veröffentlicht hat. Sie zeigen auf den ersten Blick, dass gerade die bedeutendsten Brüche oft meilenweit fortlaufen, ohne sich an der Oberfläche „in bezeichnenden Bildern widerzuspiegeln“, ohne zur Thalbildung unmittelbar Anlass zu geben.

Fig. 10.



Profil des Piavethales bei Longarone. (Hörnes.)

Unzweifelhafte Verwerfungsthäler entstanden nur dort, wo der Hangendflügel so herabsank, dass seine Schichten gegen den Bruch einfallen. Diese Voraussetzung wird z. B. in der Thalschlucht des Piave zwischen Perrarolo und Capo di Ponte erfüllt. Nach Hörnes' Beschreibung fällt der Lauf des Flusses auf dieser Strecke mit einer durch parallele Staffelbrüche bezeichneten Spalte zusammen.¹⁾ Auf der östlichen Thalseite entblösst der Bruchrand die horizontal lagernden Trias- und Juraschichten; im W.

¹⁾ Hörnes, Erdbebenstudien. Jahrb. der Geolog. Reichsanstalt 1878. S. 404.

dagegen senken sich die Kalkbänke der verworfenen Scholle ziemlich steil zur Spalte herab. Hier ist also die Thalfurche schon im Gebirgsbaue gegeben.

Wir können solche Einschnitte, die aus einer normalen Verwerfung hervorgingen, kataklastische Thäler nennen.

Die Piaveschlucht zwischen Perrarolo und Capo di Ponte wurde schon vor Jahren, ehe ihr Spaltencharakter sichergestellt war, von Bittner als eine wichtige seismische Stosslinie erkannt, deren südliche Fortsetzung bei Belluno in das Querthal von Santa Croce überspringt.¹⁾ Einen vollgiltigen Beweis für diese Annahme erbrachte jedoch erst Hörnes. Er zeigte, dass nicht allein die erste Stosslinie, die Piaveschlucht, sondern auch die zweite, das Querthal von Santa Croce, mit einer wahren Dislocationsspalte zusammenfällt. Das aus Kreidekalken bestehende Gewölbe des Col Vicentin, welches sich zwischen dem Oberitalienischen Tieflande und der Mulde von Belluno erhebt, erscheint längs der südlichen Stosslinie quer abgebrochen und so weit gegen N. vorgeschoben, dass seine östliche Fortsetzung, das Kalkplateau des Bosco del Cansiglio bastionartig in die Italienische Ebene hinausragt. Die Störung kann daher als ein schulgerechtes Paradigma horizontaler Verschiebungen gelten.²⁾ Da die Bruchlinie, längs welcher die wagrechte Dislocation der beiden, ursprünglich zusammenhängenden Kalkstöcke vor sich ging, in der Tiefe des Thales verläuft,³⁾ dürfen wir die Querfurche von Santa Croce trotz des Einflusses, den das Wasser auf ihre Ausbildung nahm, als eine Verschiebungsspalte, als ein paraklastisches Thal auffassen.

In Tafellandschaften und auch auf der Innenseite von Faltensystemen, also überhaupt in Regionen, deren

¹⁾ Bittner, Beiträge zur Kenntniss des Erdbebens von Belluno vom 29. Juni 1873. Sitz.-Ber. der Wiener Akad. d. Wiss. LXIX. Bd. II. Abth. S. 631. Vergl. auch Taf. III.

²⁾ Hörnes a. a. O. 406. Vergl. auch: Beiträge zur Kenntniss der Tertiärlagerungen in den Südalpen. Jahrb. der G. R. A. 1878. S. 26.

³⁾ Profil bei Hörnes a. a. O. 408.

Aufbau weniger durch Stauungserscheinungen, als durch Brüche beherrscht wird, fallen die wichtigsten Structurlinien des Gebirgsbaues sehr häufig mit kata- und paraklastischen Thälern zusammen.¹⁾ Manche Kettengebirge sind jedoch auch in ihrer Mittelzone, ja selbst an der Stirnfront von Spalten durchzogen, welche nicht selten in unverkennbaren Beziehungen zur Thalbildung stehen. So wurden z. B. am Aussenrande der Westalpen, in der aus Jura- und Kreidesedimenten bestehenden „subalpinen Region“ Lory's²⁾ zahlreiche Querbrüche nachgewiesen, welche mit echten Clusen zusammenfallen. Ich greife eines der reichsten Beispiele heraus: den Durchbruch der Isère von Grénoble nach Moirans, ein Querthal, dessen Seitenwände ein ganz verschiedenes Gefüge besitzen. Im S., in dem Kalkplateau von Lans, sind die Schichten äusserst sanft gefaltet, während sie im N., im Gebirge der Chartreuse, die gewaltsamsten Störungen erlitten. Dieser Gegensatz musste eine Spannung hervorrufen, welche wahrscheinlich durch die Spalte Grénoble-Moirans ausgelöst wurde.

So wahrscheinlich demnach der paraklastische Charakter des Isèrethales ist, geht Lory denn doch viel zu weit, wenn er die Frage nach der Entstehung der Durchbruchsthäler überhaupt nur unter jene Gesichtspunkte gerückt wissen will, zu denen er in seinem eigenen Forschungsbereiche gelangte. Wir müssen wohl zugeben, dass die Zerrung und Verschiebung einer Falte oder eines Faltensystems klaffende Spalten aufreissen kann; es lässt sich aber auch nicht in Abrede stellen, dass viele Störungen dieser Art ohne Einfluss auf die Bodenplastik blieben.³⁾

¹⁾ Vergl. z. B. Richthofen. China II. 391. Fraas, Aus dem Orient II. S. 8 u. a.

²⁾ Lory, Géologie du Dauphiné, und Essai sur l'orographie des Alpes occidentales. Die Grenze zwischen der subalpinen und der alpinen Region läuft von St. Maurice in Unterwallis über Sixt, Sallanches, Albertville, Grénoble und St. Bonnet zum Westabhange der See-Alpen.

³⁾ Vergl. Tietze, Bemerkungen über die Bildung von Querthälern. Jahrb. der Geol. Reichsanstalt. 1878. S. 589.

Ungleich grossartiger als die in der subalpinen Region beobachteten Dislocationen sind jene, von welchen die eigentlichen Westalpen betroffen wurden. Ihre alpine Region zerfällt in vier Zonen, welche längs gewaltiger Verwerfungsspalten staffelförmig gegen W. und O. abbrechen. Die erste Zone, welche die Protoginkerne des Pelvoux, der Grandes Rousses, der Belledonne, des Mont Blanc und der Aiguilles-Rouges umfasst, bildet den Hangendflügel einer Bruchlinie, die aus dem Wallis über den Col de Ferret, den Col de la Seigne, Saint Jean de Maurienne, den Col d'Arves und den Col du Lautaret bis nach Briançon und Vallouise fortstreicht. Der zweite, aus triadischen Glanzschiefern und Liaskalken bestehende Gebirgstreifen sank ebenfalls westwärts herab; erst der dritte, ein schmaler Zug von Anthracitsandsteinen, bildet die eigentliche Axe des Gebirges, denn die vierte Zone, welche wiederum durch das Auftreten granitischer Kerne — des Grand Paradis, der Vannoise und des Mt. Viso — ausgezeichnet ist, wurde längs der östlichen Bruchlinie gegen die Ebene von Piemont verworfen.¹⁾

Alle drei Dislocationsspalten kommen im Relief nur undeutlich zum Ausdrucke. Sie verlaufen nicht in langgestreckten Thalfurchen, sondern streichen durch kurze, steil abfallende Hochthäler und über Scharten von beträchtlicher Höhe.²⁾ Ungleich wichtiger sind jene Schichtenstörungen, durch welche der Zusammenhang zwischen den Massiven der ersten Zone aufgehoben wurde. Da jene dunklen Liasmergel, welche in verdrückten und zerknitterten Synklinalen zwischen die einzelnen Gebirgskerne eingekellt sind, von Favre und Lory in bedeutenden Höhen, z. B. auf dem culminirenden Gipfel der Aiguilles-Rouges, in

¹⁾ Lory, Essai p. 30.

²⁾ Der Verlauf der westlichen Bruchlinie wurde bereits angegeben; die mittlere streicht von Sierre über den Col de fenêtre, den Col de Serena, den Kl. Bernhard, den Col des Encombres und den Col de la Ponsonnière zur Gnisanne; die östliche endlich konnte bisher nur in der Tarantaise und bei Modane nachgewiesen werden.

ungestörter Lagerung über den Schichtenköpfen der steil aufgerichteten krystallinischen Felsbänke angetroffen wurden, müssen wir voraussetzen, dass die Juratransgression ihre Unterlage bereits als ein zusammengeschobenes, durch Denudation und Abrasion erniedrigtes Gebirge vorfand. Später traten auf's neue Störungen ein. Die ganze Region zerfiel in einzelne Schollen, die sich längs grosser Bruchlinien gegen einander verschoben. Jetzt erst thürmten sich die Massive des Mt. Blanc, der Belledonne, der Grandes Rousses und des Pelvoux zu ihrer gewaltigen Höhe empor. Zu gleicher Zeit wurden aber durch das Herabsinken einzelner Gebirgskeile die weichen Liasmergel in die Tiefe gezogen und zu schmalen Mulden zusammengepresst. Es liegt auf der Hand, dass solche Vorgänge Thäler hervorbringen mussten, die auf beiden Seiten von Verwerfungsspalten begleitet werden und die wir deshalb als Bikataklasen bezeichnen können.

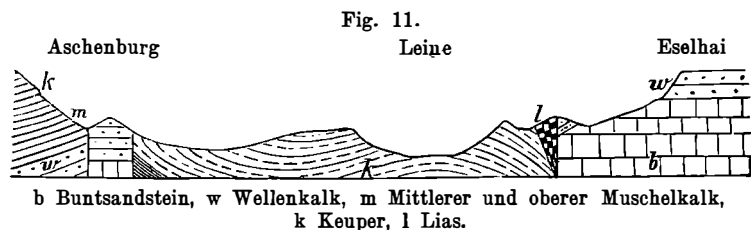
Am reinsten ist die Eigenart dieser Spaltenthäler dort ausgeprägt, wo die Stauung und der Gebirgsschub nur eine untergeordnete Rolle spielen. Ein solches Gebiet ist z. B. die von zahlreichen Sprüngen durchsetzte Buntsandsteinplatte von Göttingen. Sie wird in nordsüdlicher Richtung, längs des Thales der Leine, von einem schmalen Streifen jüngerer Triasbildungen durchzogen, den man sich früher muldenförmig in den Buntsandsteineingefaltet dachte. In neuerer Zeit ergaben jedoch die Untersuchungen Seebach's und Lang's, dass die Leine nicht eine gewöhnliche Mulde sondern einen Graben durchfliesst, in welchen die westliche und die östliche Sandsteintafel mit deutlichen Bruchrändern abstürzen ¹⁾

Hier gab demnach die Verwerfung einer schmalen Leiste zwischen zwei parallelen Spalten zur Entstehung einer thalförmigen Senke Anlass. Wie der Durchschnitt in Fig. 11 erkennen lässt, betheiligte sich aber auch das

¹⁾ Lang, Ueber den Gebirgsbau des Leinethales bei Göttingen. Ztschr. der deutschen Geol. Ges. XXXII. 799 - 806.

rinnende Wasser an der Gestaltung des Reliefs; das Leine-
thal im engeren Sinne ist offenbar nur eine Schöpfung der
Erosion.

Zu den am gründlichsten erforschten Bikataklasen der
Erde gehört jene breite Furche, welche die Einheit der
Oberrheinischen Urgebirgsscholle aufhebt und den Schwarz-



wald vom Wasgaue trennt. Elie de Beaumont war der erste,
welcher an den einander zugekehrten Steilrändern der beiden
Gebirge grosse Bruchlinien nachwies.¹⁾ Er glaubte, dass diese
Gebirge nach der Ablagerung des unteren Buntsandsteines,
des Vogesensandsteines der deutschen Geologen, längs zweier
n. n. ö. streichender Parallelspalten über den Meeresspiegel
emporgehoben wurden. Der schmale Streifen zwischen den
beiden Brüchen soll in seiner Lage verblieben sein und eine
Meeresbucht gebildet haben, auf deren Grunde der grès-
bigarré, der obere bunte oder Voltziensandstein, und der
Muschelkalk zur Ablagerung gelangten. Dieser Auffassung
pflichteten nicht allein französische sondern auch deutsche
Forscher, wie Sandberger und Platz, bei.²⁾ Sie beriefen
sich darauf, dass sowohl an den Abstürzen als auch auf
der Höhe des Schwarzwaldes und des Wasgaues von der

¹⁾ Dufrénoy et E. de Beaumont, Explication de la carte
géologique de France. I. 398.

²⁾ Vergl. Daubrée, Description géolog. et mineralog. du départ.
du Bas-Rhin. 1852. Köchlin-Schlumberger, Descript. géol. et miner.
du dép. Haut-Rhin. 1867. Sandberger, Zur Urgeschichte des Schwarz-
waldes. S. A. aus den Verhdl. der 59. Jahresversamml. der Schweiz.
Naturforsch. Ges. in Basel. 1876. Platz, Ueber die Bildung des Schwarz-
waldes und der Vogesen. Ztschr. der deutsch. Geol. Ges. XXVIII. S 111 ff.

ganzen triadischen Schichtenreihe nur der Vogesensandstein vertreten ist, während die jüngeren Sedimente vom Voltziensandsteine bis zum Jura auf die Tiefe der Rheinspalte beschränkt sind. Liesse sich die Richtigkeit dieser Voraussetzung erweisen, dann wäre Beaumont's Theorie allerdings gegen jeden Einwand gesichert. Doch Laspeyres und Lepsius fanden, dass die oberen Glieder der Trias den Vogesensandstein nicht allein im Rheinthale sondern auch auf der Höhe des Gebirges gleichförmig überlagern.¹⁾ Es kann daher zwischen dem Absatze des unteren und dem des oberen Buntsandsteins keine nennenswerthe Dislocation stattgefunden haben. Dem süddeutschen Massive blieben ja überhaupt in der paläo- und mesozoischen Zeit jene wechselvollen Schicksale erspart, von denen die geologische Geschichte anderer Urgebirgsschollen, wie z. B. die des alten bojischen Festlands, zu erzählen weiss. Der krystallinische Kern der Rheinischen Masse wird von einem Mantel paläozoischer Schiefer und Grauwacken umhüllt, die bis zum Culm hinauf allenthalben concordant über dem Gneisse liegen. Nach der Ablagerung der Culmschichten wurde die ganze Region zum ersten Male vom Mechanismus der Gebirgsbildung erfasst. Die productive Kohle liegt discordant in den Mulden der gestörten Formationen. Der Ablagerung des Rothliegenden, welches wiederum die Kohle ungleichförmig überlagert, muss eine zweite, allerdings nicht sehr bedeutende Dislocation vorangegangen sein. Mit ihr aber hatte sich die gebirgsbildende Kraft auf lange Zeit erschöpft. Vogesensandstein, Voltziensandstein, Muschelkalk, Keuper und Jura liegen rings auf den sanften Abfällen der schildförmigen Erhebung vollkommen concordant übereinander und weisen keine anderen Störungen als peripherische und radiale Brüche auf.²⁾

¹⁾ Laspeyres, Kreuznach und Dürkheim a. d. Hardt. Ztschr. der deutsch. Geol. Ges. XIX. 912. Lepsius, Ueber den bunten Sandstein der Vogesen, seine Zusammensetzung und Lagerung. Ebenda. XXVII. 99 ff.

²⁾ Vergl. Defner's und Fraas' Begleitworte zu den einschlägigen Blättern der Geognost. Specialkarte von Württemberg.

In der Versenkung des Rheinthales findet man alle diese Formationen in demselben gleichförmigen Verbande, aber unter sehr gestörten Lagerungsverhältnissen wieder. Sie setzen niedrige, zum Theil vom Diluvium verhüllte Vorhügel zusammen, die sich bald unmittelbar aus der N. W.

Fig. 12.

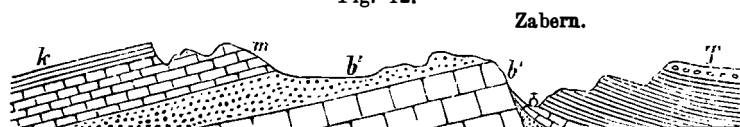


Fig. 13.

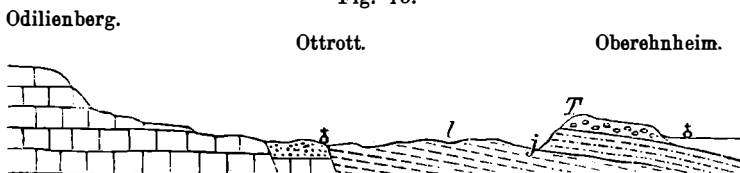


Fig. 14.
Winzfelden.



Wasgau.

Fig. 15.

Schwarzwald.



b¹ b² Buntsandstein. m Muschelkalk. k Keuper. l Lias. j Jura. T Tertiär.
Gr. Granit.

Thalebene erheben, bald an den Fuss des Schwarzwaldes und des Wasgaues anlehnen. In diesen Hügelreihen lassen sich nun jene Systeme paralleler, n. n. ö. streichender Verwerfungsspalten nachweisen, zwischen denen der mittlere, dem Rheinthale entsprechende Gebirgskeil staffelförmig in die Tiefe sank.

Nördlich von Strassburg, im Gebiete von Zabern oder Baden z. B., sind die Verhältnisse leicht zu überschauen. Die von Lepsius aufgenommenen Durchschnitte stellen einfache Brüche dar, an denen der Hangendflügel eine Verwerfung erlitt. Auch am Fusse des Odilienberges sind die Bruchlinien noch mit grosser Regelmässigkeit angeordnet. Weiter gegen S. aber zerfiel der verworfene Gebirgsflügel, wie der Durchschnitt durch das Becken von Winzfelden zeigt, in einzelne Schollen, welche unter den verschiedensten Winkeln bald in dieser bald in jener Richtung einfallen.

Die Zusammenfassung aller Einzelheiten zu einem idealen Bilde ergibt das Profil Fig. 15, welches den Spaltencharakter des Oberrheinthales in schematischer Weise veranschaulicht.

Einen Schluss auf das Alter des Einsturzes gestatten die marinen Tertiärbildungen. Sie kommen ausschliesslich in der Tiefe des Rheinthalles vor, während die älteren Schichten des Jura und der Trias — die Kreide fehlt — sowohl in der Spalte als auch auf der Höhe des Gebirgs erhalten blieben. Die Verwerfung des mächtigen Keiles zwischen dem Schwarzwalde und dem Wasgaue kann daher erst vor dem Anbruche der Tertiärzeit oder im Laufe dieser Periode selbst erfolgt sein.

Eine Störung, ein fremdartiger Zug in dem einfachen Bilde des Rheinthalles ist der Kaiserstuhl, der aus der Tiefe der Versenkung frei emporragt. Das eruptive Material, das ihn aufbaut, quoll jedenfalls aus einem jener Brüche hervor, durch welche das Thal selbst zu Stande kam.

Dass solche Ergüsse die Oberflächengestaltung ganzer Regionen beherrschen und sogar die Ausbildung prägnanter Thalfurchen im Gefolge haben können, lehrt eine Betrachtung des Nordwestrandes von Böhmen.¹⁾

¹⁾ Die folgenden Zeilen wurden zuerst im Jahrb. der Geolog. Reichsanstalt, 1882, 4. H. unter dem Titel „Der Gebirgsbau des mittleren Egerthales“ veröffentlicht.

Das Flussgebiet der Eger zerfiel in der jüngeren Tertiärzeit in eine Reihe grosser Süsswasserbecken, welche durch kurze Canäle mit einander verbunden waren. Das mittlere, das Falkenau-Elbogner Becken, entstand ebenso wie das Oberrheinthal durch einen grossartigen Einsturz. Es ist eine reine Bikataklase. Schon Hochstetter zeigte, dass in der Tertiärperiode auf der Höhe der damals noch nicht entzweigeprenkten schildförmigen Erhebung zwischen Sachsen und dem inneren Böhmen die Sedimente der vorbasaltischen Braunkohlenformation, die bekannten Quarzsandsteine und Schieferthone, abgesetzt wurden. Diese tertiären Schichten findet man aber nicht allein hoch oben auf dem Karlsbader und Erzgebirge sondern auch um mehr als 300 m tiefer, vielfach verworfen und von der ungestörten nachbasaltischen Braunkohlenformation überdeckt, auf dem Grunde des Falkenau-Elbogner Beckens. Es muss also nach ihrer Ablagerung ein Bruch stattgefunden haben, durch welchen der Schlussstein des alten Gewölbes zwischen dem Karlsbader und dem Erzgebirge in die Tiefe sank.¹⁾ Nur im W. blieb uns in dem schmalen Thonschiefer-Riegel, der das mittlere vom oberen Egerbecken trennt, ein Rest des verworfenen Gebirgskeiles erhalten. Gerade an dieser Stelle aber lässt sich im Streichen der grossen Bruchlinie eine gegen N. überschlagene Falte nachweisen, die uns zu der Annahme zwingt, dass der Zusammenschub und die Aufstauung der Erzgebirgsregion von S. her erfolgte, dass der Südflügel derselben — das Karlsbader Gebirge — in Folge dessen gegen das eigentliche Erzgebirge vorgeschoben und so lange an dasselbe gepresst wurde, bis sich die im Gebirge vorhandene Spannung längs einer Zone geringeren Widerstandes in ein System von Verwerfungen umsetzte.²⁾ So wurde jener Einsturz herbeigeführt, der die Entstehung

¹⁾ Hochstetter: Karlsbad. Seine geognost. Verhältn. und seine Quellen. S. 38, 39.

²⁾ Löw l, die Verbindung des Kaiserwaldes mit dem Erzgebirge. Jahrb. der Geolog. Reichanst. 1881. S. 453.

des Falkenau-Elbogner Beckens zur Folge hatte. Der versunkene Gebirgskeil aber muss, wie die überstürzte Falte seines stehengebliebenen Westflügels beweist, zwischen den Bruchrändern wie in einem Schraubstocke zusammengedrückt worden sein.

Bei Karlsbad verlässt die Eger ihr mittleres, bikataklastisches Tertiärbecken. Sie fliesst noch eine Strecke weit im Granite der Karlsbader Masse, durchschneidet dann eine Basaltbarriere des Duppauer Gebirgs und folgt endlich von Warta bis Kaden jener tief eingeschnittenen Thalfurche, deren tektonische Anlage wir zu entziffern haben. — Schon in der Plastik ihrer beiden Gehänge offenbart sich selbst dem Auge des Laien ein bedeutsamer Contrast: Im N. steigt der geschlossene, auf der böhmischen Seite ziemlich steil geböschte Wall des Erzgebirges an, der mit seinem nahezu horizontal verlaufenden Firste, seinen kurzen, senkrecht abzweigenden Kammwiderlagen und den zwischen ihnen ausgeprägten Erosionsfurchen sofort jene schematische Regelmässigkeit erkennen lässt, die für das Relief der Schiefergebirge so überaus charakteristisch ist; im S. dagegen lastet auf altkrystallinischer Unterlage die unförmliche, nur von radial ausstrahlenden Schluchten durchfurchte Masse des Duppau-Lisener Basaltstockes; aus dem Thalgrunde selbst endlich streben jene schroffen, ruinengekrönten Felskegel empor, die — wie der Himmelstein bei Warta und die Schönburg bei Klösterle — auf den ersten Blick ihren vulcanischen Ursprung verrathen und die schönste Zierde des mit landschaftlichen Reizen so überreich ausgestatteten Egerthales darstellen.

Den Schlüssel zum Verständnisse der bis jetzt nur flüchtig und zusammenhangslos skizzirten Reliefformen haben wir im allgemeinen Gebirgsbaue zu suchen. So einförmig sich das Erzgebirge zwischen Schlackenwerth und Komotau in seiner lithologischen Zusammensetzung erweist — es besteht ja der Hauptmasse nach nur aus Gneiss, hinter dem die übrigen krystallinischen Schiefer an Bedeutung

weit zurücktreten — so gibt uns die allenthalben zu beobachtende regelmässige Aufeinanderfolge der verschiedenen Gneissvarietäten doch genügende Anhaltspunkte zur Bestimmung der architektonischen Verhältnisse an die Hand. Die unterste Stufe, die Grundlage des mittleren Erzgebirgs, bilden Bänder- und Knollengneisse, deren Glimmergemengtheil zu Flasern und zu Häutchen verwebt ist, welche die einzelnen Quarz-Feldspathlagen trennen. Das Anschwellen der letzteren zu grösseren Linsen bedingt den Uebergang von den gebänderten zu den Knollengneissen. Wir fassen beide als untere oder böhmische Gneissformation zusammen.¹⁾

Im Hangenden folgt eine Reihe vielfach alternirender Gneissarten, die sich durch ihre feinkörnige Structur und den nicht mehr in Lamellen sondern nur noch in einzelnen Schuppen und Täfelchen auftretenden Glimmer sehr leicht von den Gesteinen der ersten Stufe unterscheiden lassen.²⁾ Ein charakteristisches Glied dieser oberen oder hercynischen Gneissformation bildet die von Jokely als Urthonschiefer beschriebene Felsart.³⁾ Sie ist ein ganz feinkörniges, ja nicht selten anscheinend dichtes Gemenge von Quarz, Feldspath und Glimmer, besitzt im letzten Falle eine massige Structur, während sie sich sonst in dünne Platten spalten lässt, wechsellagert mit den übrigen Gliedern der oberen Gneissformation, ist durch zahlreiche Uebergänge mit den-

¹⁾ Jokely (Die geolog. Beschaffenheit des Erzgebirges im Saazer Kreise. Jahrb. der Geolog. Reichsanstalt. 1857. S. 520 u. folg.) wählte die Bezeichnung: Rother Gneiss, die hier deshalb unzulässig ist, weil namentlich der Knollengneiss sowohl in frischem als auch in angegriffenem Zustande sehr häufig nur weissen Orthoklas enthält.

²⁾ Jokely a. a. O. subsumirte sie dem „Grauen Gneisse“, dessen Hauptmerkmal das ausschliessliche Vorkommen weissen oder grauen Feldspathes sein soll. Doch auch diese Bezeichnung ist unstatthaft, da an manchen Orten, wie zwischen Pürstein und Weigensdorf, im Hangenden des Knollengneisses ein feinkörnig schuppiger Gneiss mit rothem Orthoklas ansteht.

³⁾ A. a. O. 534.

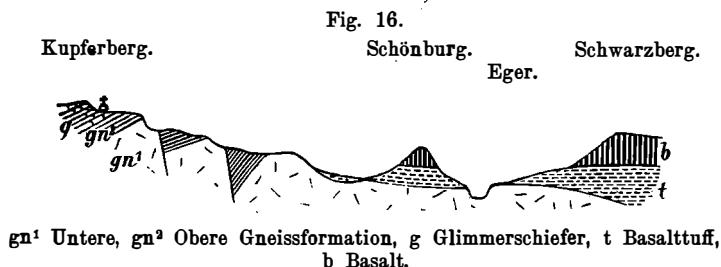
selben verknüpft und darf daher auch trotz ihres fremdartigen Aussehens nicht von ihnen getrennt werden.¹⁾

Auf die Gneissformation folgt endlich der Glimmerschiefer, der sich sowohl auf der Höhe des Gebirgs als auch unter sehr gestörten Lagerungsverhältnissen auf der Südabdachung desselben in isolirten Schollen und Lappen erhalten hat. Phyllit konnte ich in dem Gebiete, dem die nachstehenden Durchschnitte entnommen sind, nirgends nachweisen, und die dem Glimmerschiefer oder den jüngeren Gneissen eingeschalteten Lager von Hornblendeschiefer, Kalk u. s. w. spielen eine so unbedeutende Rolle, dass sie hier füglich übergangen werden können.

Die im Vorhergehenden angedeutete Aufeinanderfolge der einzelnen Urgebirgsetagen lässt sich am leichtesten bei Kupferberg feststellen, wo längs der nach Klösterle hinabführenden Strasse ein recht instructives Profil aufgeschlossen ist. Kupferberg steht noch auf Glimmerschiefer, welcher bei o. n. ö. Streichen 45° in N. verflächt. Gegen S. kommt unter ihm ein lichtgrauer, feinkörnig-schuppiger Muscovitgneiss hervor, der in mächtigen Platten und Tafeln bricht. Er stellt die obere Gneissformation dar und wird von einem durch zollgrosse Knollen weissen Feldspaths ausgezeichneten Gneisse der ältesten Stufe unterteuft. Ueberraschend wirkt an dieser Stelle der Gegensatz zwischen den Reliefformen, welche die beiden Gneissarten bedingen. Der jüngere, feinkörnige Gneiss verwittert beinahe ebenso leicht wie der Glimmerschiefer und nimmt daher unauffällige Bergformen und sanfte Böschungen an, aus denen nur hie und da einige Schichtenköpfe als schroffe, überhängende Felszähne emporstarren. Wo dagegen der gebänderte oder der Knollengneiss ansteht, trägt die Bodenplastik in der Regel das charakteristische Gepräge der Granitlandschaft. So thürmt sich unterhalb Kupferberg der Knollengneiss zu einem mächtigen, pfeilerförmig zerklüfteten Felsgerüste empor,

¹⁾ Wechsellagerung und Uebergänge sind am besten bei Komotau zu beobachten.

welches auf der Südseite lothrecht zu einer ausgedehnten Blockhalde abstürzt.



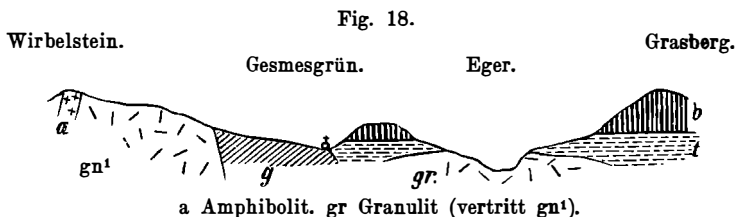
Wandert man von hier aus noch weiter abwärts, so stösst man bald wieder auf den feinkörnig-schuppigen Gneiss, der hier sanft unter den Knollengneiss einfällt. Der letztere ist demnach durch eine Verwerfung abgeschnitten.¹⁾ Ein zweiter Bruch lässt sich bei Haadorf nachweisen, wo die obere Gneissformation unter einem Winkel von 80° gegen die untere einschiesst. Diese tritt bald darauf wieder zu Tage, wird dann von Basalttuffen überlagert und taucht endlich am Nordfusse der basaltischen Schönburg nochmals in einer kleinen Scholle auf. Jenseits dieses Kegelberges hat der Egerfluss die vulcanischen Massen durchsägt und den gebänderten Gneiss blossgelegt. Er steht hier in senkrechten, granitartig zerklüfteten Felsmauern an, ist auch in dem Seitenthälchen von Kettwa noch eine Strecke weit gegen S. zu verfolgen und verschwindet endlich unter den Tuffen und Basaltströmen des Duppauer Gebirgs.

Wie in dem Profile Kupferberg-Schönburg lassen sich auf der ganzen Südabdachung des mittleren Erzgebirgs, sobald nur genügende Aufschlüsse vorhanden sind, Verwerfungs-

¹⁾ Jokely suchte die ungewöhnlichen Lagerungs- und Verbandverhältnisse des „rothen“ und „grauen“ Gneisses durch die Annahme zu erklären, dass der erste, den er für ein Eruptivgestein hielt, den zweiten in Stöcken und Apophysen durchbrach (a. a. O. 539, 542); doch gab er nebenher zu, dass es stellenweise den Anschein hat, „als wenn der rothe Gneiss erst durch spätere Verwerfungen blossgelegt worden wäre“. A. a. O. 544.

spalten nachweisen, an denen der südliche Gebirgsflügel staffelförmig in die Tiefe sank. Die Durchschnitte Schweiger-Burberg und Wirbelstein-Grasberg liefern hinreichende Belege.

Neben den Verwerfungen sind allerdings auch bedeutende Schichtenfaltungen zu beobachten;¹⁾ die wichtigsten Grundlinien der Architektur fallen aber doch mit den grossen Brüchen zusammen.



Der verworfene und abgesunkene Südflügel des Erzgebirgs bildet die Unterlage für die vulcanischen Massen des Duppauer Mittelgebirgs; ihm gehören jene kleinen Schollen altkrystallinischer Felsarten an, welche am Nordrande dieses Basaltstockes hie und da durch die Erosion aufgeschlossen wurden. Doch das Duppauer und das Erzgebirge sind nicht allein räumlich sondern auch genetisch auf das innigste mit einander verknüpft. Alle jene Ströme und Effusionsdecken, welche im Vereine mit den Conglomerat- und Tuffbänken den Duppauer Basaltstock aufbauen, quollen nach dem Einsturze des Erzgebirgs aus den Spalten der verworfenen Scholle hervor. Man kann daher mit Fug und Recht

¹⁾ So verläuft z. B. zwischen Weigensdorf und Pürstein eine ganz zusammengedrückte Synklinale, in deren Kern eine Scholle von feinkörnigem Gneiss und Glimmerschiefer eingeklemmt ist.

behaupten, dass das vulcanische Mittelgebirge an den Bruchrand des Erzgebirgs gebunden ist. Im Lichte dieser Auffassung erscheint das mittlere Egerthal als der Typus einer bisher ganz übersehenen Kategorie tektonischer Thäler. Es verdankt seine Entstehung in erster Reihe einem grossen Bruche — ebenso wie das Falkenau-Elbogener Becken. Während jedoch hier nur ein verhältnissmässig schmaler Keil verworfen wurde und der Südflügel des Erzgebirges im Karlsbader Gebirge erhalten blieb, ist er im O., zwischen Schlackenwerth und Bodenbach vollständig abgesunken. Hier waren es die aus seinen Spalten hervorbrechenden vulcanischen Massen, die im Angesichte des Erzgebirges das Duppauer und Leitmeritzer Mittelgebirge aufthürmten und so die Bildung des Egerthales und der ihm analogen Teplitzer Bucht zum Abschlusse brachten. Dass auch die Erosion in grossartigem Maasstabe wirkte, soll damit keineswegs in Abrede gestellt werden. Die Tuffmassen, welche den Südfuss des Erzgebirgs verhüllen, hingen ja ebenso wie die ihnen aufgesetzten isolirten Basaltkappen ursprünglich mit der Hauptmasse des Duppauer Gebirgs zusammen. So sind z. B. die Plateauberge im O. von Pürstein und die kegelförmige Schönburg bei Klösterle nicht etwa Producte localer Eruptionen sondern, wie ihre senkrechte Säulenstellung beweist, nur Reste weit hergeflossener Decken und Ströme, welche von der Eger bis auf ihre altkrystallinische Unterlage hinab durchsägt wurden.¹⁾ Doch so energisch das Wasser sein Zerstörungswerk betrieb, die Wirkungen, die es erzielte, kommen trotzdem erst in zweiter Reihe in Betracht. Der Einsturz des Erzgebirges und die durch ihn bedingten Basalteruptionen hatten die Furche des mittleren Egerthales bereits geschaffen, ehe der Abfluss des Falkenau-Elbogener Beckens seine Erosionsarbeit begann.

Es gibt eine ganze Reihe von Faltengebirgen, welche auf ihrer Innenseite ebenso wie das Erzgebirge durch Verwerfungen abgebrochen sind und von eruptiven Massen begleitet

¹⁾ Vergl. Fig. 16 u. 18.

werden.¹⁾ Wie nicht anders zu erwarten, kommen in solchen Regionen auch sehr häufig Thalbildungen vor, auf welche das aus der Structur des Egerthales abgeleitete Schema — Fig. 19. — Anwendung findet.

Fig. 19. Idealprofil einer „vulcanischen Kataklase“.



Ich wähle zwei lehrreiche Beispiele aus dem Karpathensysteme.

Eine auffallende Analogie mit der Nordwestumrandung Böhmens zeigt jener mächtige Doppelwall, der sich zwischen der Moldau und dem centralen Hügellande Siebenbürgens erhebt²⁾: Der Gebirgszug zwischen der Bistritza und der Maros entspricht dem Erzgebirge, der Verlauf der Maros und Aluta dem Egerthale und der Teplitzer Bucht, das Hargittagebirge endlich dem Duppauer und Leitmeritzer Mittelgebirge. Im O. der oberen Maros und Aluta bezeichnet das Ausgehende der steil in O. einfallenden Schichten einen deutlichen Bruchrand. Hier ist der ganze Westflügel des krystallinischen Gebirgs in die Tiefe gesunken. Aus seinen Verwerfungsspalten aber stiegen im W. jenes grossen Längenthales die Trachyte des Hargittastockes empor, der sich mit seiner mächtigen Tuffhülle, seinen Kegeln, Domen und Tafelbergen von der im O. vorliegenden Schieferzone ebenso scharf abhebt wie das vulcanische Mittelgebirge Böhmens vom Erzgebirge.

Die bisher besprochenen vulcanischen Kataklasen verlaufen im Streichen des Gebirgs. Es gibt aber auch Spaltenthäler dieser Art, welche eine oder mehrere Ketten als prägnante Querfurchen durchbrechen. Ich brauche nur auf jenen, von Richthofen entdeckten Bruch hinzu-

¹⁾ Vergl. Suess, Die Entstehung der Alpen. S. 37, 47.

²⁾ Vergl. Hauer u. Stache, Geologie Siebenbürgens. S. 304—311.

weisen, durch welchen die ganze krystallinische Zone der Karpathen bei Kaschau und Eperies quer abgeschnitten wurde.¹⁾ Auch hier gab das Absinken des Gebirgs im Vereine mit den Eruptionen, die längs des Bruchrandes stattfanden, zur Entstehung einer Kataklase vom Charakter des Egerthales Anlass.

Als ein Seitenstück zu der transversalen Kaschauer Furche darf vielleicht die zwischen dem Ostrande des Rheinischen Schieferplateaus und dem basaltischen Vogelgebirge eingesenkte Wetterau angesehen werden. Es ist zum mindesten sehr wahrscheinlich, dass die Spalten des Oberrheinthales, die sich ja noch im Mainzer Becken nachweisen lassen, bis zur Nidda fortstreichen und den Ostflügel der devonischen Scholle verwarfen.

In einem auffallenden Gegensatze zu den grossen Dislocationsspalten des Erzgebirgs und der Karpathen steht der Abbruch des Apennins. Er erfolgte nicht längs einer annähernd geraden Linie sondern setzt sich, wie Suess schon vor Jahren gezeigt hat, aus einer Reihe von Kesselinbrüchen zusammen.²⁾ Halbkreisförmig greifen hier die Senkungsfelder von Toscana, Neapel, Salerno u. s. w. durch die zum grössten Theile versunkene krystallinische Zone bis in die Kalk-, ja selbst bis in die Flyschregion hinein. Fanden nun im Centrum eines solchen Einsturzkessels Eruptionen statt, so musste zwischen ihren Aufschüttungen und dem Bruchrande des Gebirgs selbstverständlich eine bogenförmig gekrümmte vulcanische Kataklase entstehen. In diese Kategorie von Thälern fällt die breite, fruchtbare Senke, welche den Vesuv von dem

¹⁾ Richthofen, Studien aus den ungarisch-siebenbürg. Trachytgebirgen. Jahrb. der Geol. Reichsanstalt. 1860. S. 153 u. folg.

²⁾ Suess, Ueber den Bau der italienischen Halbinsel. Sitz-Ber. der Wiener Akad. d. Wiss. LXV. 1. Abth. S. 217 u. folg. — Die Erdbeben des südlichen Italien. S. A. aus dem XXXIII. Bande der Denkschriften der Akademie. S. 2, 26 – 32.

Steilabfalle der im O. vorliegenden Kalkzone trennt, sowie jene, die den Aetna im N., W. u. S. umgürtet.¹⁾

Die vollendetsten Ringkataklasen, die mir aus der Literatur bekannt wurden, stellen der nahezu geschlossene Rieskessel mit dem Wenneberge und die ihm durchaus analoge Ebene von Jesreel mit dem centralen Basaltstocke des Kleinen Hermon dar.²⁾ Doch solche kreisförmige Einstürze können im geographischen Sinne kaum mehr als Thäler bezeichnet werden. —

Blicken wir zurück.

Die Tiefenlinien des Reliefs, welche im Gebirgsbaue vorgezeichnet sind, liessen sich genetisch mit beiden Hauptarten der terrestrischen Rindenbewegung, dem Falten- und dem Spaltenwurfe, in Verbindung bringen. Die Stauung der Schichten lieferte, wenn sie mit mässiger Kraft vor sich ging, symptomatische und unter Umständen auch anarregmatische Längenfurchen. An der Grenze zwischen Kettengebirgen und starren Erdschollen waren in der Regel die Bedingungen zur Entstehung heteroptygmatischer Senken gegeben. Am schärfsten sind diese Scheidethäler dort ausgeprägt, wo sich der Stirnfront des Faltensystems ein Massiv als stauende Widerlage entgegenstemmt.

Wirkte der Tangentialschub in unmittelbar neben einander liegenden Querprofilen mit ungleicher Intensität, dann erlitten die Falten eine senkrecht auf das Streichen gerichtete Zerrung, welche mitunter wohl durch das Aufreißen einer transversalen Thalspalte, einer Paraklase, ausgelöst wurde. Doch die Mehrzahl der klastischen Thäler ging aus den gewöhnlichen, durch regionale Senkungen und durch Torsionen in Gang gesetzten Mechanismus der Spaltenbildung hervor. Er ergab einfache Kataklasen, ferner Bikataklasen oder grabenförmige Einbrüche und endlich die verschiedenen Formen der vulcanischen Kataklasen.

¹⁾ Suess, Die Erdbeben des südl. Italien. a. a. O. 30, 31.

²⁾ Fraas, Aus dem Orient. I. 69.

Erosionsthäler.

Erst nach hartem Kampfe brach sich die Erkenntniss Bahn, dass in der Einwirkung des Dunstkreises auf die Erdrinde ein Agens liegt, welches den grossartigen Leistungen der Thalbildung adäquat ist. Rüttimeyer gebührt das Verdienst, den unerquicklichen und aussichtslosen Principienstreit, ob die Entstehung der Thäler ganz und gar dem Mechanismus der Gebirgsbildung oder zum Theile auch der Erosion zu danken sei, durch die Anwendung der inductiven Methode in die wissenschaftliche Discussion eingeführt zu haben. Es gelang ihm, aus den morphologischen Verhältnissen des Reuss- und Tessinthaales den Nachweis abzuleiten, dass diese Querfurche, welche den ganzen Gebirgskörper der Alpen durchschneidet, nur durch das Wasser ausgenagt wurde.¹⁾ Seine grundlegende Arbeit zwang Unbefangene und Befangene, sich mit dem Gedanken der Thalerosion zu befreunden. Unfassbar blieb er wohl nur den Orographen der alten Schule. Dem Geologen, der in der genetischen Erklärung der Reliefformen auch die Zeit in Anschlag bringt, die den gestaltenden Kräften zur Verfügung stand, fiel es bei weitem leichter, den richtigen Maassstab für die Wirkungen des Wassers zu gewinnen. Wenn dasselbe während einer Festlandsperiode in ausgedehnten Regionen ganze Schichtensysteme zerstören und bis auf unscheinbare Reste fortschwemmen konnte, dann darf ihm wohl auch die Aushöhlung von Thälern — eine viel geringere Leistung — zugeschrieben werden;²⁾ geben uns ja selbst Beobachtungen

¹⁾ Rüttimeyer, Ueber Thal- and Seebildung. S. 20—66.

²⁾ Bücking hat in einer Arbeit über „Gebirgsstörungen und Erosionserscheinungen südwestlich vom Thüringer Walde“ das Verhältniss zwischen Erosion und Denudation für das $1\frac{1}{2}$ Qu. M. umfassende Gebiet zwischen dem Dollmar, der Werra, Schmalkalde, Stille und Schwarza berechnet. Er fand, dass hier der Landverlust durch die Denudation 21,733 Mill., der durch die Thalbildung hingegen nur 4495 Mill. Raummeter beträgt. Jahrb. der Preussischen Geolog. Landesanstalt. 1881. S. 99 u. f.

über die Resultate, welche die Erosion in verhältnissmässig kleinen Zeiträumen erzielte, Prämissen für weitgehende Schlüsse an die Hand. Die Sohle vieler Alpenthäler wurde in der Diluvialperiode mit Geschiebemassen von gewaltiger Mächtigkeit überdeckt, und erst in der jüngsten Vergangenheit haben sich die Wasserläufe wiederum bis auf das Niveau der alten Thalböden, an manchen Stellen sogar noch tiefer, eingesnitten. Die Sillschlucht bei Innsbruck liefert ein lehrreiches Beispiel. Dort, wo der Ruzbach aus dem Stubaitale hervorbricht, erhebt sich der langgestreckte Rücken von Schönberg, den die alte Brennerstrasse mühsam hinaufklimmt. Er gehört der Grundmoräne des diluvialen Stubai-gletschers an, der hier mit dem vom Brenner herabsteigenden Eisstrom verschmolz und die Thalsole durch die Ablagerung seiner glacialen Geschiebe um nahezu 250 m. erhöhte. Als sich die grossen Gletscher bis in den Hintergrund der Hochthäler zurückgezogen hatten, also erst nach dem Abschlusse der Diluvialzeit, nahm das rinnende Wasser die Aushöhlung des Wippthales und seiner Verzweigungen wieder auf. Es gelang ihm seither, nicht nur die ungeheuren Grundmoränen der alten Eisströme zu durchsägen sondern auch noch 50—60 m. tief in das Grundgebirge, in den anstehenden Phyllit, einzuschneiden. Die Sill und der Ruzbach haben in dieser kurzen Spanne Zeit ihr Bett bei Schönberg um 300 m. vertieft.

Am besten lässt sich das rasche Fortschreiten der Erosion in vulcanischen Regionen beobachten. So wurde, um ein bekanntes, von Lyell angeführtes Beispiel zu wählen, der Simeto in Sicilien im Jahre 1603 durch Basaltströme abgedämmt, in denen er seither einen 50 bis einige 100 Fuss tiefen, stellenweise 40—50 Fuss breiten Graben aushöhlte. Auch in der Umgebung des Laacher Sees am Rhein hatte die Erosion sehr bedeutende Hindernisse vulcanischer Natur zu bewältigen. Die ältesten Eruptionen dieses Gebietes, welche noch vor dem Ende der Oligocänzeit stattfanden, gingen allerdings der Thalbildung und der ganzen Gestaltung

des gegenwärtigen Reliefs voraus; doch die vulcanische Thätigkeit hielt mit Unterbrechungen bis zum Schlusse der Diluvialperiode an.¹⁾ Die jüngsten Ausbrüche fanden bereits Thäler vor, welche sie mit Schlamm- und Lavaströmen ausfüllen. Die Bäche wurden dadurch gezwungen, ihre Erosionsarbeit von neuem aufzunehmen. Dieselbe ging trotz der Härte und Widerstandsfähigkeit des eruptiven Materiales sehr rasch von Statten. Die Thäler sind gegenwärtig sogar beträchtlich tiefer eingegraben als vor ihrer Ausfüllung durch die vulcanischen Massen. Man findet daher die Reste der von den Bächen durchsäigten Lavaströme nicht unten auf der Sohle sondern in einiger Höhe über ihr an den Gehängen der Thäler erhalten.²⁾ So gehören z. B. die schroffen Abstürze der „Mauerlei“, welche die rechte Seitenwand des Gleeser Thales krönt, einem Basaltstrome an, der aus dem Krater des Veitskopfes hervorquoll. Seine Mächtigkeit beträgt nach Dechen 6—10 m., seine Höhe über dem Thalgrunde aber 30—45 m.³⁾ Der kleine, unansehnliche Gleeser Bach hat sich also durch den Basalt und den darunter liegenden devonischen Schiefer in relativ kurzer Zeit gegen 60 m. tief eingeschnitten — jedenfalls eine nicht unbedeutende Leistung.

Doch alle bisher angeführten Beispiele werden an Grossartigkeit weit übertroffen von den analogen Erscheinungen, die Whitney aus Californien beschreibt. Hier gibt es Lavaströme jungtertiären, ja selbst postglacialen Alters, die mitsamt ihrer Unterlage von mehr als 500 m. tiefen Schluchten und Thälern durchschnitten werden.⁴⁾

¹⁾ Dechen, Geognostischer Führer zu dem Laacher See. S. 560 u. f.

²⁾ Dechen, a. a. O. 564—570. Schneider, Studien über Thalbildung aus der Vordereifel. S. 32 u. f.

³⁾ Dechen, a. a. O. 65, 66. Dressel, Geognost-Geolog. Skizze der Laacher Vulcangegend. S. 41.

⁴⁾ Whitney, Geolog. Survey of California. The Yosemite Book. New-York 1868, p. 75.

Wie die unmittelbare Beobachtung der sägenden und einschneidenden Wirkungen des Wassers so führt auch die Berechnung der von den Gebirgen herabgeschwemmten Massen zu einer annähernd richtigen Vorstellung von der Energie der Erosion. Genaue Untersuchungen dieser Art verdanken wir einigen Schweizer Ingenieuren. Bürkli-Ziegler in Zürich und Legler in Glarus fanden durch Messung und Rechnung, dass die Linth an der Mündung in den Walensee jährlich 60—80.000 Raummeter ablageret. Diesem Resultate darf jedoch nur eine beschränkte Wichtigkeit beigelegt werden, da die Linth schon in ihrem Oberlaufe verbaut ist. Allgemeineren Werth haben die für die Reuss angestellten Berechnungen, denn das gesammte Drainirungsgebiet dieses Alpenflusses befindet sich jetzt noch in seinem Naturzustande. Aus den Messungen Becker's ergab sich, dass die Reuss in den Jahren 1851—1878 ihr Delta im Urner See um nicht weniger als 3,947,050, also im Jahresdurchschnitte um etwa 150,000 Cub. Met. vergrösserte.¹⁾ Das ganze Thalgebiet nimmt ein Areal von 825 Quad. Kilom. ein, und die Abtragung beträgt daher für einen Quadratkilometer durchschnittlich 182 Raummeter, was einer Erniedrigung des Gebirges um 1^{mm} in 5¹/₂ Jahren oder von 1^m in 5500 Jahren gleichkommt. Bringt man auch noch den feinen, in den See hinausgeführten Schlamm, der ungefähr den vierten Theil der Flussgeschiebe ausmacht, in Rechnung, so ergibt sich eine Abtragung von 1^m in nur 4125 Jahren. — Gestützt auf diese Resultate schätzt Heim die Zeit, welche die Aushöhlung des ganzen Reussthal's erforderte, auf etwa 1150 Jahrtausende.

Sollte die Gesamtheit der bisher mitgetheilten Beobachtungen, Messungen und Berechnungen nicht im Stande sein, alle Zweifel an der thalbildenden Kraft des Wassers zu verscheuchen, so können wir uns zum Schlusse

¹⁾ Heim, Ueber die Erosion im Gebiete der Reuss. Jahrb. des Schweizer Alpen-Club. 1879. S. 387.

noch auf den meteorologischen Factor in der Gestaltung der Erdoberfläche berufen.

Nichts vermag die Wirkungen der Erosion so drastisch zu veranschaulichen wie der Gegensatz zwischen den Relief-
formen benachbarter und ganz gleichartig gebauter Regionen, von denen die eine viel Wasserdampf condensirt, während die andere ausgiebiger Niederschläge entbehrt. Eine solche Regenvertheilung tritt bekanntlich überall ein, wo ansehnliche Gebirgsketten feuchten Luftströmungen im Wege stehen. Die Wetterseite erfreut sich reichlicher Niederschläge, die dem Winde abgewandte, die Leeseite hingegen leidet nicht selten unter der entsetzlichsten Trockenheit und kann sogar, wie der wüste Peruanische Küstenstrich, verdammt sein, im Angesichte des Weltmeeres zu verschmachten. Je höher und geschlossener die Gebirge sind, desto erheblicher wird die Differenz, welche sie in der Vertheilung des Regens bewirken, desto schärfer daher auch der orologische Gegensatz zwischen ihren beiden Abdachungen. Der riesige Himalaiawall stellt eine solche Grenzscheide dar. Dadurch, dass er seit seiner Aufthürmung die dahinter liegenden Gebiete den Einflüssen des regenbringenden Sommermonsuns entzog, rief er im Laufe der jüngsten Periode der Erdgeschichte jenen durchgreifenden Contrast zwischen der Himalaia- und der Tibetanischen Region hervor, der von allen Reisenden so nachdrücklich betont wird. Die Regenseite des Gebirges zeigt überall eine alpine Scenerie: Schroffe Spitzen und Kämme, Firnfelder und Gletscher, tief eingerissene Thäler und steile Gehänge mit kräftigem Waldbestand. Jenseits der Wasserscheide aber macht das formenreiche Relief des Hochgebirges eintönigen Flächen Platz, aus denen nur hie und da der First einer unter mächtigen Schuttmassen begrabenen Bergkette hervorragt. Der Detritus konnte eben in Folge des Mangels an Niederschlägen nicht fortgeschafft werden und füllte im Vereine mit anderen subaërischen Bildungen, namentlich mit Löss, das ungeheure Becken am Nordfusse des Himalaia allmählich aus. „Es scheint,

als hätten wir hier einen rohen Block vor uns“, bemerkt Shaw in seinen „Visits to High Tartary“, „aus dem die Natur die gewöhnlichen Formen der Gebirgslandschaft auszumeisseln vermöchte, wenn sie durch einen Klimawechsel Schnee, Eis und Wasser hinzuführte, um die Massen von Erde und Kies hinwegzuschwemmen, durch welche jetzt die Bergketten zusammengekittet sind. Der fast gänzliche Mangel an Regen leitet zu der Vermuthung, dass das Eintreten desselben ein Mittel wäre, um das Land seinem Nachbargebiete ähnlich zu machen, wo starke Regengüsse und tief geschnittene Schluchten zusammen bestehen“. ¹⁾

Ebenso unabweisbar wie im Himalaia drängen sich die Leistungen der Erosion auch in dem chinesisch-mongolischen Grenzgebiete der Beobachtung auf. Dasselbe gehörte vormals dem abflusslosen Steppen- und Wüstengürtel Centralasiens an und wurde erst durch einen Klimawechsel, der ihm mehr Feuchtigkeit zuführte, als „periphereische Landschaft“ dem Ocean zinsbar gemacht. ²⁾ Soweit hinreichende Niederschläge stattfinden, werden die ehemaligen Salzsteppen durch das fließende Wasser zerschnitten und in Lössregionen verwandelt. Doch weiter gegen das Innere des Continents, wo alle Erosionsbedingungen fehlen und der Wind zur Oberherrschaft gelangt, da reiht sich auf unabsehbare Entfernungen hin eine Steppenniederung an die andere. Die Schluchten sind verschwunden. Soweit das Auge reicht, erblickt es nichts als die unmerklich ansteigenden Böschungen der einförmigen Mulden und Becken, kein Thälchen, auch nicht den kleinsten Wasserriss, der die äolischen Bildungen des Steppengrundes enthüllte.

Dieser Gegensatz in der Oberflächengestaltung nöthigt jeden denkenden Beobachter zur unbedingten Anerkennung der Erosion und ihrer Schöpfungen. In den ausgedehnten Lösslandschaften Chinas geht es nicht an, den gegenwärtigen Thal- und Schluchtensystemen ursprüngliche Spaltennetze

¹⁾ Richthofen, China. I. 132.

²⁾ Ebenda. 83.

zu Grunde zu legen. Hier erscheint die Thalbildung ganz und gar unabhängig vom Gebirgsbaue, ja geradezu als eine Function der meteorologischen Verhältnisse: Wo sich Niederschläge einstellen, da ist sie im vollen Gange; wo diese fehlen, verschwinden auch Täler und Schluchten.

Entwicklungsgeschichte der Erosionsthäler.

Das Wesen der Thalerosion offenbart sich schon in den unscheinbaren Leistungen der kleinsten Wasseradern. Jede Berglehne, jeder Vulkankegel, überhaupt jede aus einem annähernd homogenen Material aufgebaute Erhebung kann als Untersuchungsobject dienen. Ein vorzügliches Beobachtungsfeld bietet das Plateau, welches die klaffende Lücke zwischen dem Erzgebirge und dem Lausitzer Granitmassive ausfüllt. Es stellt in seinen wesentlichen Zügen eine mächtige Sandsteinplatte dar, welche von zahlreichen Thalschluchten durchfurcht und von vereinzelt Basalkuppen überragt wird. Hier kann das Wasser, unbeirrt durch die störenden Einflüsse eines verwickelten Gebirgsbaues, seine Arbeit vollenden. Eine rein sandige Facies verdrängt die bunte Schichtenreihe der innerböhmischen Kreidebucht. Es findet, wenn wir von der dünnen Schichte der „Kopitzer Mergel“ absehen, keine Wechsellagerung ungleich harter Felsarten statt. Ebenso einfach wie die lithologische Zusammensetzung ist aber auch die Architectonik des Quadergebirges. Seine mächtigen Felsbänke liegen nahezu horizontal über einander und tauchen im Streichen des grossen Erzgebirgsbruches, zwischen Bodenbach u. Kamnitz, in einer monoklinen Falte unter die vulcanischen Massen des Leitmeritzer Mittelgebirges hinab.¹⁾ Hinter diesem

¹⁾ Krejčí, Studien im Gebiete der böhmischen Kreideformation. Archiv der naturwiss. Landesdurchforschung von Böhmen. I. 2. Abth. S. 108 u. f.

wallartigen Absturze lag in der Tertiärzeit ein ausgedehntes Seebecken, welches über die Senke zwischen dem Lausitzer und Isergebirge hinweg mit der tertiären Wasserbedeckung Norddeutschlands in Verbindung stand.¹⁾ Das Elbesandsteingebirge war damals noch nicht durchbrochen. Es besass ein selbständiges, im S. abgeschlossenes Thalsystem, welches durch die vom Lausitzer und vom Erzgebirge herab-rinnenden Wasserläufe drainirt wurde. Nachdem sich der Stammfluss — die heutige Kamnitz und die Elbe zwischen Herrnskretsch und Pirna — bis auf das Niveau von 250 — 300^m eingenagt hatte, trat eine Ruheperiode ein. Die einzelnen Thäler und Schluchten wurden nicht mehr vertieft sondern erweitert. Ob hiebei der Wind oder das in trägen Serpentinien fortfließende und die Thalwände benagende Wasser die Hauptrolle spielte, ist schwer zu entscheiden. Der Zirkelstein, die Kaiserkrone, der Papststein, Pfaffenstein, Königstein, Lilienstein und die übrigen isolirten Plateauberge zu beiden Seiten der Elbe dürften wohl ebenso wie die gleichartigen Reliefformen des Coloradogebietes in Nordamerika hauptsächlich durch sandführenden Wind modellirt worden sein. Diese Annahme findet auch an dem früheren Steppencharakter Böhmens eine Stütze.²⁾

Der alte, von den soeben erwähnten Plateauresten überragte Thalboden wurde nun durch die Aushöhlung des eigentlichen Elbethales in zwei breite Terrassen zerschnitten, welche längs der Kamnitz und von Herrnskretsch an längs der Elbe in einer relativen Höhe von ungefähr 150^m fortlaufen. Nach einer Periode des Stillstandes wurde also durch das Wiedererwachen der Erosion neuerdings eine Periode der Vertiefung eingeleitet. Dieser Umschwung kann natürlich nur durch eine erhebliche Steigerung des Gefälles und diese wiederum nur durch das

¹⁾ Stur, Studien über die Altersverhältnisse der nordböhmischen Braunkohlenbildung. Jahrb. der Geol. Reichsanstalt. 1879. S. 161.

²⁾ Vergl. Laube, Ueber Spuren des Menschen aus der Quartärzeit in der Umgebung von Prag. S. A. aus Lotos, Jahrb. f. Naturw. 1882.

Schwinden und das allmähliche Ablaufen der norddeutschen Tertiärwässer herbeigeführt worden sein.

Die Tieferlegung der Drainirungsbasis zwang zunächst den Stammfluss zum Einschneiden in die ältere Erosionsfläche. Er musste eine neue, tiefere Rinne ausspülen, welche immer weiter zurückgriff und auf diese Art einen Nebenfluss nach dem anderen zur Wiederaufnahme seiner Thätigkeit befähigte. Jetzt erst nagte der vom Südrande des Quadergebirges herabbrinnende Bach jene Schlucht aus, durch deren rückwärts fortschreitende Vertiefung eine Bresche in den Wall des nordböhmischen Tertiärbeckens gelegt wurde. Der See begann abzufliessen. Ein reissender Strom arbeitete an dem Durchstich der Sandsteinschwelle von Tetschen und an der Vollendung des heutigen Elbethales. Vor der Mündung aller Nebenthäler, deren Erosion mit jener des Hauptthales nicht gleichen Schritt halten konnte, entstanden hohe Ausgangstufen. Die Seitenbäche stürzten in Wasserfällen und Katarakten herab und konnten daher gerade hier ihre ganze Kraft entfalten. Sie durchsägten den Rand der Stufen, schnitten thalaufwärts — also in derselben Art wie ihr Stammfluss nach dem Wiedererwachen der Erosion — eine tiefe Schlucht in den alten Thalboden ein und liessen nicht früher ab zu erodiren, bis sie das Gesamtgefäll des Thalweges wiederum jener nach unten convexen Curve angepasst hatten, welche der Bewegung des fliessenden Wassers entspricht. Ein Zurückweichen der Stufen, wie man es am Niagara-Falle beobachtet hat, lässt sich hier nirgends nachweisen. Wo immer ein solches Zurückweichen stattfindet, dort hat man es mit einer durch die lithologisch-tektonischen Verhältnisse des Grundes bedingten Anomalie zu thun. Die Erosion an und für sich kann Stufen weder schaffen noch erhalten. Sie geht vielmehr stets darauf aus, alle Unregelmässigkeiten des Thalweges zu beseitigen. Das Endziel ihrer Thätigkeit ist die Herstellung der idealen Gefällscurve. Ich hebe diese allenthalben zu beobachtende und anscheinend

selbstverständliche Thatsache deshalb so nachdrücklich hervor, weil sie von einer neueren Hypothese über die Entstehung der Thalstufen ganz ausser Acht gelassen wurde.

Als die Ausbildung des Elbethales abgeschlossen war, konnten auch die von seiner Entwicklung abhängigen Seitenthäler endgiltig drainirt werden. Ihr Gefäll wurde immer tiefer herabgedrückt, bis sich die Erosion endlich in allen Punkten des Thalweges an dem Widerstande des Gesteins brach. So entstanden jene langgestreckten, tiefen und steilwandigen Schluchten, welche das Sandsteingebirge durchschneiden. Sie stellen den Canal-Typus der Erosionsthäler dar, der überall wiederkehrt, wo Wasserläufe über ein Plateau wegfließen und sich von dessen Rändern aus gegen ihren Ursprung zurück einschneiden. Alle Thäler dieser Kategorie wurden beinahe ausschliesslich durch das rinnende Wasser, also durch die Erosion im engeren Sinne, ausgegagt.

Die steilen, nackten Seitenwände, welche die Canalthäler des Quadergebirges begleiten, konnten sich den Angriffen der Atmosphäriien gegenüber nirgends als geschlossene Felsmauern erhalten. Sie sind von unzähligen, steil abfallenden Schluchten durchschnitten, deren Werden und Wachsen auf einem ganz anderen Wege vor sich geht als die Thalbildung, welche von Plateauflüssen eingeleitet wird. Das Regenwasser zieht an den jähren Abhängen zunächst seichte Furchen, welche durch weitere Güsse tiefer ausgegagt und allmählich in Rillen umgewandelt werden. In den unteren Theilen derselben erfolgt das Einschneiden am raschesten. Hier entfaltet der Wasserlauf seine höchste Energie. Der obere Abschnitt der Rillen bleibt flacher und seichter. Das Regenwasser wirkt in dieser Region vorzugsweise spülend. Seine Thätigkeit ist nicht so wie im unteren Theile an eine bestimmte, deutlich ausgeprägte Tiefenlinie gebunden. Es entstehen sehr bald mehrere flache Furchen, die sich erst dort mit einander vereinigen, wo sie durch die rasche Vertiefung des unteren Abschnittes der Rille

zum Convergiere gezwungen werden. Die Anlage und die Ausbildung jedes einzelnen Wasserrisses wird also vom unteren Ende her geregelt.

An den vielfach zerschnittenen Gehängen des Elbthales und seiner grösseren Seitenthäler sind alle Phasen dieser Entwicklung vertreten. Noch besser aber lassen sie sich auf der Südabdachung des benachbarten Erzgebirges beobachten. Man findet da gleichmässig flache Furchen, Rillen, die als seichte Gräben beginnen und gegen die Niederung zu immer tiefer in den Gebirgskörper einschneiden, daneben endlich solche, die sich in der Höhe bereits in zwei oder mehr Furchen zu verzweigen beginnen.

Ist die Verzweigung einmal eingetreten, dann gelangt im Relief der Gegensatz zwischen den extensiv spülenden Wirkungen des Regenwassers in der Höhe und der intensiv bohrenden Thätigkeit des Wasserlaufes in der Tiefe mit zunehmender Schärfe zum Ausdruck. Der Ursprung der Rille bildet sich zu einer unregelmässig muldenförmigen Einsenkung, einem Kare, aus, welches an seinem unteren Ende allmählich in den schmalen und tiefen Abflussgraben, die Klamm, übergeht. So entwickelt sich aus der Rille mit Nothwendigkeit der Trichter, die Stammform der Erosionsthäler.

Ob man den Process der Thalbildung an den Rändern einförmiger Sandsteinplateaux oder in sanftgewellten Schiefergebirgen, ob man ihn an frei aufragenden Vulkankegeln oder im Hochgebirge verfolgt — überall geht er von dem Prototyp des Trichters aus. Die Bildung dieser Grundform erheischt bereits das Zusammenwirken aller Agentien, die sich an der Modellirung der Erdoberfläche in erster Reihe betheiligen. Das Kar ist der Schauplatz der Zersetzung, der den Klüften nachgehenden Verwitterung und der mechanischen Zertrümmerung des Gesteins. Auf seinem Grunde sammeln sich die von der Umrandung heruntergestürzten und durch den Regen herabgespülten Schuttmassen an, um nach und nach in die Klamm hineingezogen zu

werden und die erodirende Kraft des Wasserlaufes zu steigern.¹⁾ Mündet derselbe nicht in ein reissendes Gewässer; das ihre Weiterbeförderung übernimmt, dann werden sie nach Gesetzen, die denen der Deltabildung analog sind, in einem Schuttkegel abgesetzt, der von dem Ausgange der Klamm in das Hauptthal oder in die vorliegende Ebene hinabzieht. Es ist daher ein glücklich gewähltes Bild, wenn Coaz die Erscheinung der Trichter mit einer Sanduhr vergleicht, aus deren oberem, dem Kare entsprechenden Behälter der Sand durch eine enge Rinne in den unteren Kegel abläuft.²⁾

In Culturländern, deren Waldbestände dem sinnlosen Eingreifen des Menschen zum Opfer fielen, erfolgt die Entleerung des Kares, die Vertiefung der Klamm und die Aufschüttung des Trümmerkegels nicht allmählich sondern ruckweise und mit furchtbarer, verheerenden Gewalt. Anhaltende Regengüsse, namentlich aber plötzliche Schneeschmelzen, wie sie im Hochgebirge so häufig durch warme Luftströmungen veranlasst werden, liefern Wassermassen, die unaufhaltsam über die nackten Wände des Kares herabstürzen, den hier aufgespeicherten Schutt mit einem Male fortschwemmen, die Klamm im Verlaufe von Stunden merkbar vertiefen und den Schuttkegel so rasch erhöhen, dass er als mächtiger Damm den Wasserlauf des Hauptthales zu einem See anzuspannen vermag.³⁾

Jede Wasserader, die sich einen Trichter ausgegabt hat, ist zunächst bestrebt, ihr Rinnsal in die gesetzmässige Gefällscurve zu bringen. Dies gelingt ihr aber nur dann, wenn sich das Thal, dem sie zufliesst, in einer Periode des

¹⁾ Den Einfluss der Geschiebeführung auf die Erosion erörtert Gilbert in dem Abschnitte „Land Sculpture“ seiner *Geology of the Henry Mountains*.

²⁾ Coaz, Der Illgraben gegenüber Leuk im Wallis. *Mitth. der naturf. Ges. in Bern*. 1881. S. 102.

³⁾ Aus der reichen Literatur über die Wildbäche und ihre Verheerungen verdienen hervorgehoben zu werden: Lehmann, die Wildbäche der Alpen; Koch, Ueber Murbrüche in Tirol (*Jahrb. d. Geol. R. A.* XXV) u. Surell, *Étude sur les torrents des Hautes-Alpes*. I. p. 1—48.

Stillstandes befindet. Ist jedoch das Gefäll des Hauptthales noch so bedeutend, dass der Fluss weiter zu erodiren vermag, dann wird auch die Drainirung des Trichters vereitelt oder doch verzögert. Sein Wasserlauf muss mit der Erosion des Flusses, unter dessen Herrschaft er steht, gleichen Schritt zu halten suchen. Er wird also zunächst seinen eigenen Schuttkegel durchsägen, hierauf von unten nach oben die Vertiefung der Klamm in Angriff nehmen und endlich zur Herstellung des Normalprofils selbst in den Boden des Kares einschneiden. Dadurch aber gibt er einen kräftigen Impuls zur Beschleunigung des Zerstörungsprocesses, der in der oberen Trichterregion vor sich geht. Die hier aufgehäuften Schuttmassen werden rascher durch die Klamm hinabgeführt. In Folge der weiteren Aushöhlung des Kares gewinnt seine Umrandung steilere Böschungen. Der Gehängschutt kann sich daher nicht in seiner Lage erhalten. Er sitzt nach und nach ab und gibt so der chemischen und mechanischen Einwirkung der Atmosphärien immer neue Angriffsflächen preis. Je weiter also die Klamm in das Kar einschneidet, desto weiter wird auch das Hintergehänge desselben zurückgeschoben, desto tiefer greift der Trichter in das Gebirge ein. Ueberzeugende Belege für dieses Wachsthum liefern alle in voller Entwicklung begriffenen Hochthäler unserer Alpen. Ihre zu meist sehr steilen Seitenwände sind von typisch ausgebildeten Trichtern durchfurcht, deren Kare bald nur in das Gehänge selbst eingesenkt sind, bald bis zum wasserscheidenden Kamme emporziehen. Aber auch dieser setzt ihnen keine dauernde Schranke. Er schrumpft zu einem schmalen, schroffen Felsgrate zusammen und wird endlich in einer tiefen Scharte durchbrochen, so dass die Kare zweier in die entgegengesetzten Abdachungen des Kammes eingeschnittener Trichter nicht selten nur durch eine niedrige Einsattelung von einander getrennt sind.

Bis zur Wasserscheide vorzudringen und sie zu erniedrigen, ist das Ziel, das jeder Trichter zu erreichen

sucht und das er erreichen muss, wenn seiner Entwicklung nicht vom Hauptthale aus durch eine Veränderung der Erosionsbedingungen Einhalt gethan wird. Es geht daher nicht an, je nach der Lage des Kares unterhalb einer Scharte, am Fusse eines geschlossenen Grates oder im Gehänge desselben drei verschiedene Kategorien von Trichtern zu unterscheiden, wie dies der französische Ingenieur Surell in einer geistlosen orographischen Systematik der „Torrents“ versucht hat.¹⁾

Sobald zwei correspondirende Trichter mit den Hinterhängen ihrer Kare längs einer Wasserscheide zusammen treffen, wird ihre weitere Entwicklung nicht mehr durch das Hauptthal allein sondern auch noch durch einen anderen Factor, durch ihre gegenseitigen Beziehungen, ich möchte sagen durch ihr Kräfteverhältniss geregelt. Sind die Erosionsbedingungen auf beiden Seiten nahezu dieselben, dann wird die Wasserscheide wohl immer tiefer und tiefer herabgedrückt aber nicht seitwärts verschoben. Ist hingegen — aus Ursachen, die wir später erörtern werden — ein Trichter dem anderen überlegen, dann durchbricht er die ursprüngliche Wasserscheide und erweitert sein Kar auf Kosten des Gegners.

Es ist von grossem Interesse, den hartnäckigen Kampf der obersten Verzweigungen benachbarter Hochthäler im Einzelnen zu verfolgen. Die tiefen Erosionsfurchen, welche in die Nordabdachung der Hohen Tauern eingegraben sind, bieten hiefür eine besonders günstige Gelegenheit. Ein Beispiel für viele: Zwischen dem Kapruner und dem Stubachthale erhebt sich ein hoher, zum Theil vergletschter Kamm, dessen breiter Abfall gegen das Salzachthal durch einige Gräben, die eigentlich schon die Bezeichnung Thäler verdienen, in divergirende Rücken aufgelöst wird. Der östlichste derselben bildete einst vom Kitzsteinhorn an einen geschlossenen Scheiderücken zwischen dem Kapruner Thale und dem Grubbachgraben, der damals

¹⁾ Surell, a. a. O. 11.

noch bis zum Schmiedinger Gletscher hinaufreichte. In die steile Ostabdachung dieses Rückens schnitten aber die kleinen Zuflüsse der Kapruner Ache ihre Trichter ein, die immer weiter und weiter zurückgriffen, bis es endlich einem von ihnen, dem wilden Zeferetten-Graben, gelang, die Wasserscheide gegen W. zurückzudrängen, den Abfluss des Schmiedinger Gletschers in sein Rinnsal zu ziehen und so den Grubbach seines ganzen oberen Sammelgebietes zu berauben.

Solche Eingriffe in das Nachbargebiet sind durchaus nicht auf die Kämme und Grate zwischen den kleinen Seitenthälchen beschränkt. Auch die Hauptwasserscheide der Alpen ist der Schauplatz wechselvoller Kämpfe. Schon Rütimeyer zeigte, dass der Bach des Val Piora auf der Südseite des St. Gothardt-Stockes die alte Wasserscheide zwischen Mittelrhein und Tessin durchschnitt und den kleinen Hochsee, der bereits im Hintergrunde des Val Cadlimo, also im Quellgebiete des Mittelrheins liegt, in das Drainierungsgebiet des Tessin hinüberzog.¹⁾ Eine andere strittige Grenzregion ist der Maloggia-Sattel zwischen dem obersten Engadin und dem Bergell. Hier hat die immer weiter zurückgreifende Maira dem Inn bereits sein altes Quellgebiet mitsamt der Albigna und dem Fornogletscherbache entrissen und die Grenze um nicht weniger als 3·5 Kilometer gegen O. verschoben.²⁾

In diesen und in allen ähnlichen Fällen wird der Kampf um die Wasserscheide von den obersten Verzweigungen der Täler, den Trichtern, ausgefochten. Sie sind es, in denen die aggressive Tendenz der Erosion am entschiedensten zur Geltung gelangt. Aber auch ihrem Zerstörungswerke wird früher oder später ein Ziel gesetzt. Die fortschreitende Entwicklung des Hauptthales muss endlich einmal die Periode der Aushöhlung zum Abschlusse bringen und eine Periode des Stillstandes oder gar der

¹⁾ Rütimeyer, Ueber Thal- und Seebildung. S. 52, Anm.

²⁾ Heim, Mechanismus der Gebirgsbildung, I. 320; u. „Die Seen des Oberengadin“. Jahrb. des Schweizer Alpenclub. XV. 429.

Auftragung herbeiführen. Die Wirkungen eines solchen Umschwunges pflanzen sich allmählich bis in die kleinsten Seitenthälchen und ihre entlegensten Kare fort. Jeder Bach und jeder Riesel gewinnt Zeit, seinen Trichter zu drainiren. Er vergrössert den Schuttkegel, vertieft von unten nach oben die Klamm und arbeitet so lange an der Verminderung des Gefälles, bis die Energie der Erosion auf dem ganzen Thalwege durch den Widerstand des Grundes aufgehoben wird. Das fliessende Wasser wirkt jedoch nicht mit gleichbleibender Kraft. Schon die Betrachtung der Regenfurchen und der Rillen liess uns erkennen, dass sich seine Thätigkeit gegen die Tiefe zu steigert. Ein Gefäll, welches im obersten Abschnitte des Trichters die Erosion zu brechen vermag, wäre deshalb noch immer nicht hinreichend klein, um auch in der Klamm die Wirkungen des Wassers zu paralysiren. Das Rinnsal eines jeden vollkommen ausgebildeten Trichters stellt daher keine regelmässige sondern eine gegen das Hintergehänge des Kares immer schärfer gekrümmte Curve dar.

Da die Drainirung, wie wir sahen, von unten nach oben fortschreitet, kann die Erosion in der Klamm längst erstorben sein, während sie im Kare noch mit der Herstellung des normalen Gefälles beschäftigt ist. Schliesslich erlahmt sie auch hier. Der Trichter gelangt zur Ruhe. Er hört auf, sein Gebiet zu erweitern, ja er kann nicht einmal die Wasserscheide, die er Schritt für Schritt erkämpft hat, gegen die Uebergriffe unentwickelter Nachbarn vertheidigen. Seine weitere Aushildung erfolgt von nun an in anderer Richtung. Durch das stete Anwachsen des Schuttkegels wird nach und nach auch das Gefäll der Klamm so weit verringert, dass der Bach nicht allein seine ganze Erosionskraft sondern auch die Fähigkeit, grössere Gesteinsfragmente fortzuschaffen, einbüsst. Er ist schon in der Klamm gezwungen seine Geschiebe abzulagern und so eine mehr oder weniger breite, ebene Thalsohle zu schaffen. Die unregelmässige Anhäufung des Schuttes nöthigt ihn bald

hier bald dort sein Bett zu verlassen und in mäanderartig gewundenem Laufe dahinzufliessen. Er kann daher die Seitenwände der Klamm benagen und bewirkt auch auf diese Weise eine Ausweitung des Thalweges. Der Abflusscanal des Kares nimmt allmählich den Querschnitt eines breiten Grabens an. Damit aber vollzieht sich die Entwicklung des Trichters zum Thale.

Am besten ist dieser Uebergang zur letzten Phase der Thalbildung in niedrigen Berg- und Hügelländern zu beobachten. So lassen ihn z. B. die kurzen „Gründe“ und Gräben, welche den Bruchrand des böhmischen Erzgebirges durchfurchen, ganz deutlich erkennen. Viele von ihnen stehen mitten im Trichteralter; bei den meisten aber hat sich die Umwandlung der Klamm in einen breiteren Thalgrund bereits vollzogen.

Dieselbe Entwicklungsgeschichte lässt sich auch aus den morphologischen Verhältnissen der grossartigsten Hochgebirgsthäler ableiten. Zwischen dem Thale der Gasteiner Ache in den Hohen Tauern und dem unscheinbarsten Trichterthälchen des Erzgebirges besteht kein wesentlicher Unterschied. Die Gestaltung beider war vom Anfange an denselben Gesetzen unterworfen und ergab daher auch gleichartige Resultate. Die meilenlangen Thalfurchen, die wir in den Hohen Tauern, in den Zillerthaler, Oetzthaler Alpen u. s. w. antreffen, entsprechen ganz und gar dem aus der Trichterklamm hervorgegangenen Abflussgraben des Kares. Dieses selbst aber wird sehr häufig durch ein ihm durchaus analoges Amphitheater, einen gewaltigen Gletschercircus vertreten. Die soeben erwähnten Gebirgsgruppen liefern hiefür treffliche Beispiele. Ich nenne nur den Schlegeisen-Schwarzenstein- und Floitengrund in den Zillerthaler Alpen, die beiden Sulzbachthäler, das Habach-, Kapruner-, Fuscher-, Rauriser- und Malta-thal in den Hohen Tauern. Bedeutendere Erosionsfurchen wie das Gasteiner oder das Oetzthal entwickeln sich nicht mehr aus karförmigen Amphitheatern sondern aus weiten

Sammelgebieten, in denen ihre vielfach verzweigten Componenten, durch hohe Kämme und Grate von einander getrennt, gegen den Anfangspunkt der eigentlichen Thallrinne convergiren. Diese Erscheinung ist auf dieselben Ursachen zurückzuführen wie die Karbildung der Trichter. Auf den Abdachungen der Hohen Tauern, des gewaltigen Oetzthaler Stockes und der anderen Gebirgskerne der Alpen spielte sich, allerdings im grossartigsten Maasstabe, derselbe Erosionsprocess ab, den wir auf dem Steilhange des Erzgebirges verfolgten. Hier wie dort wurde der untere Abschnitt der Trichterthäler durch die gesteigerte Energie des Wasserlaufes befähigt, mehre aus der wasserscheidenden Region herabziehende Rinnsale zum Convergiren und zur Vereinigung zu zwingen.

So haben die grossen Querthäler der Alpen ihre wesentlichen Züge mit den unzweifelhaft durch das Wasser ausgenagten Trichtern gemein; und diese Uebereinstimmung leistet auch die sicherste Gewähr für ihren erosiven Ursprung.

Geht man zum Studium der Einzelheiten über, dann treten allerdings sowohl im Längen- als auch im Querprofile der Erosionsthäler Abweichungen hervor, zu deren Erklärung die bisher besprochenen Vorgänge keineswegs ausreichen. Schon der scharf ausgeprägte Terrassenbau, durch den sich die meisten Hochthäler auszeichnen, ist mit der auf die Herstellung eines gleichmässigen Gefälles gerichteten Thätigkeit des Wassers unvereinbar. Unsere Entwicklungsgeschichte wäre verfehlt, wenn sie diese charakteristischen Thalformen übersähe oder nicht zu deuten wüsste.

Wir haben bisher nur die unmittelbaren Wirkungen der Erosion in's Auge gefasst und die Veränderungen, welche die durch den Wasserlauf blossgelegten Flächen erleiden, ganz ausser Acht gelassen. Die Seitenwände der Täler werden durch das Fortschreiten der Erosion ununterbrochen in Mitleidenschaft gezogen. Je tiefer die Sohle

eingeschnitten wird, desto schroffer steigen die Gehänge empor. Da aber ihre Neigung die Resultante aus den Einwirkungen der Atmosphäre und der Widerstandsfähigkeit des Gesteins darstellt, müssen die aufgelockerten und zersetzten Felsmassen so lange absitzen, bis der Böschungswinkel auf das richtige Maass herabgedrückt ist: Schuttabrutschungen, Felsschlipfe und Bergstürze sind von der Ausnagung eines Gebirgsthales ebenso unzertrennlich wie Schluchten und Klammen. Es gilt nun zu zeigen, in welcher Weise die Anhäufung dieser Schuttmassen auf die Gestaltung der Thäler einwirkt.¹⁾

Besuchen wir das Velber Thal, welches von Mittersill zum Tauernkamme emporzieht. Sein unterer Abschnitt ist ein Alluvialboden, den der Bach in zwei steil abfallende Terrassen zerschnitt. Hat man diese Strecke zurückgelegt, so erreicht man, über mächtige Trümmerhalden der westlichen Thalwand bergansteigend, sehr bald die Schosswendalpe. Im Hintergrunde dieser zweiten Terrasse erhebt sich ein über 100^m hoher Wall, der ganz den Eindruck einer alten Stufe im anstehenden Gesteine macht. Sein First erscheint nämlich nicht gegen die Thalsole geneigt wie die Profillinie eines Schuttkegels sondern vollkommen wagrecht. Unmittelbar hinter diesem gewaltigen Querriegel liegt, von jäh aufragenden Felswänden umschlossen, das Becken des Hintersees. Sein Abfluss, der Velber Bach, hat den Rand der Stufe durchsägt und gestattet einen Einblick in die Structur des Dammes. Was er entblösst, ist nicht etwa anstehendes Gestein sondern ein Haufwerk von scharfkantigen Blöcken, grobem Schotter und feinerem Gruse. Dieses Gefüge, namentlich aber der horizontale, thalauswärts convexe First des Walles legen die Vermuthung nahe, dass man eine alte Frontalmoräne vor sich habe. Doch der Centralgneiss, der im Hintergrunde des Velber

¹⁾ Die folgende Auseinandersetzung sowie einer der nächsten Abschnitte, welcher die Entstehung der Durchbruchsthäler zum Gegenstande hat, erschien in breiterer Ausführung zuerst in Petermanns Mitth. 1882.

Thales ansteht, ist in dem Schuttriegel nicht vertreten. Man findet nur Blöcke desselben Hornblende- und Chlorit-schiefers, dessen Schichtenköpfe an den Thalwänden zu beiden Seiten des Sees zu Tage treten. Dieser Umstand spricht für die Richtigkeit der Tradition, nach welcher der Hintersee gegen das Ende des 15. Jahrhunderts durch einen grossen Bergsturz der westlichen Thalwand aufgedämmt wurde.¹⁾ Unter der Thalbevölkerung hat sich sogar die Kunde erhalten, dass die Sohle des Velberthales vor der Katastrophe mit gleichbleibendem, sanftem Gefälle vom Fusse des Freigewänds bis zur Schösswendalpe hinabzog. Die hohe Stufe mit dem dahinter liegenden Seebecken ist daher nur jenem gewaltigen Bergsturze zuzuschreiben.

Es gibt wohl keine Stelle, an der sich die Entstehung eines Dammsees²⁾ besser demonstrieren liesse als hier im oberen Velber Thale. Der Bergsturz, der sich wie es heisst in Folge eines Erdbebens von den Abhängen des Hohen Herds loslöste, überschüttete den Thalgrund mit einer Trümmermasse, welche gering angeschlagen 15,000,000 Raummeter ausmacht. Damit war ein Querwall von 100^m Höhe gegeben, der den Bach zu einem See von der gleichen Tiefe anspannen musste. Sobald das Becken gefüllt war, begann sein Abfluss den First des Walles zu durchsägen und das Zurücksinken des Seespiegels herbeizuführen. Die nur wenige Meter tief eingerissene Scharte zeigt jedoch, dass er in dieser Arbeit bisher keine sonderlichen Fortschritte machte. Der Einschnitt in den Schuttriegel erregt daher vorläufig durchaus keine Besorgnisse um die Existenz des Sees. Eine weit grössere Gefahr droht diesem von anderer Seite. Die Bäche, welche rings über seine Felsumrandung herabstürzen, arbeiten mit grossem Erfolge an der Ausfüllung seines Beckens. Vom Fusse des Freigewänds aus haben sie ein weites, sanft geneigtes Delta in den See

¹⁾ Muchar, Das Thal und Warmbad Gastein S. 81.

²⁾ Ich ziehe diese sachliche Bezeichnung dem von Peschel gewählten Terminus „Sonklarsee“ vor.

vorgeschoben, das ihn Schritt für Schritt zurückdrängt. Gegenwärtig füllt er nur noch die kleine Vertiefung unmittelbar hinter dem Querriegel und in nicht allzuferner Zeit — jedenfalls noch bevor ihn das Einschneiden des Velber Baches zum Abfließen zwingt — wird er vollständig verschüttet sein.

Um auch diese letzte Phase an einem concreten Beispiele kennen zu lernen, braucht man vom Hintersee nur über die Lämmerscharte in das benachbarte Hollersbachthal hinüber zu steigen. In ihm trifft man unterhalb der Rossgrubhütte, genau an jener Stelle, welche der Lage des Velberer Hintersees entspricht, ein ganz homogenes Seebecken an. Es ist aber bereits ausgefüllt und bildet einen kreisrunden, wagrechten Alluvialboden, den der Bach trägen Laufes in zahlreichen Adern durchfließt. Dieser alte, nunmehr verschwundene Rossgrubsee entstand auf dieselbe Weise und, wenn die erwähnte Ueberlieferung von dem grossen Erdbeben richtig ist, wahrscheinlich auch an demselben Tage wie der Hintersee; nur wurde die Aufdämmung des Baches nicht durch einen sondern durch zwei, von dem linken und dem rechten Thalhange niedergehende Bergstürze bewirkt. Die äussere, thalabwärts gerichtete Böschung stellt ebenso wie im Velber Thale eine prägnante 50—60^m hohe Stufe dar.

Die Stufenbildung ist also nur ein Correlat der Beckenbildung. Schneidet der Abfluss eines Dammsees so rasch in den stauenden Schuttriegel ein, dass das Becken entwässert und nicht durch die Geschiebe der einmündenden Bäche ausgefüllt wird, dann bleibt der bis zur Basis durchsägte Riegel eben als Riegel stehen, eine Stufe aber bildet er nicht. Ein rasches Abfließen des Sees findet jedoch nur dort statt, wo die Thalsperre aus wenig mächtigen Schutthalen besteht. Lieferten dagegen wie bei dem Rossgrub- und Hintersee ganze Bergstürze das Material zur Damm- bildung, dann geht die Erosionsarbeit nicht so rasch von Statten; die Seitenbäche gewinnen Zeit zur Ablagerung

ihrer Geschiebe und erhöhen den Seegrund allmählich bis zur Kammlinie des Querwalles. Damit ist aber auch schon eine Stufe gegeben.

Zahlreiche Alpenthäler besitzen einen Terrassenbau, welcher wenn nicht ausschliesslich so doch vorzugsweise aus solchen „Dammstufen“ besteht. Eine der grossartigsten hat das Pfitscher Thal, aufzuweisen. Es beginnt unterhalb der Griesscharte und bildet von Innerpfitsch bis Ried eine nahezu ebene Terrasse, auf welcher der Bach durch kleine Schuttkegel bald gegen die linke bald gegen die rechte Thalwand geworfen wird. Diese obere Terrasse ist von dem unteren, in den Sterzinger Kessel auslaufenden Thalboden durch eine gegen 500^m hohe Stufe getrennt, über welche der Pfitscher Bach in mehreren Absätzen und durch eine Reihe düsterer Engen herabstürzt. In diesen ist das Material und die Structur der Stufe sehr schön aufgeschlossen. So steht man z. B. dort, wo der von Ried herabführende Saumpfad nach einigen Zickzackwindungen das rechte Ufer gewinnt, unmittelbar vor einer senkrecht eingerissenen Klamm, deren Seitenwände aus einem lockeren Haufwerke von Schieferblöcken bestehen. Auch hier haben Bergstürze einen Querriegel aufgeschüttet, der durch die Ausfüllung des dahinter liegenden Seebeckens in eine Dammstufe umgewandelt wurde. —

Gelangt die Entwicklung eines Thales zum Abschlusse, wird die Erosion des Wasserlaufes durch das verminderte Gefäll gebrochen, so können auch die Seitenwände allmählich jenen Böschungswinkel annehmen, der dem Charakter ihres Gesteins entspricht. Doch die Gefahr, die dem Thalgrunde droht, ist damit noch immer nicht beseitigt. Die Gehänge wurden ja inzwischen durch das Regenwasser gefurcht. Es entstanden Rillen und Trichter, durch welche jeder Regenguss Wildbäche hinabtosen lässt, die den Gebirgsdetritus fortschwemmen und in Verderben bringenden Muhren oder Schuttkegeln über die Thalsole ausbreiten. Wir werden später — im Antholzer Thale — sehen, dass solche Schutt-

kegel ebenso wie Bergstürze Seen anspannen und Dammstufen hervorrufen können.

In den Angriffen der Atmosphärien auf die Seitenwände offenbart sich also ein Factor, der mit zügellosem Ungestüm in den regelmässigen Fortgang der Thalbildung eingreift, die Erosion hier zum Stillstande bringt, dort belebt und so den Thalboden in Formen zwingt, die mit den unmittelbaren Wirkungen der Erosion in schroffem Widerspruche stehen.

Doch der Terrassenbau lässt sich nicht überall mit der Ablagerung des Gehängschuttes in Verbindung bringen. Es gibt auch Stufen, die in den anstehenden Fels eingeschnitten sind und Lateralterrassen, welche hoch über der gegenwärtigen Thalsole als schmale, nahezu horizontale Leisten an den Seitenwänden fortlaufen. Ihre Entstehung kann hier noch nicht erklärt werden. Wir haben die Lösung dieses und so manches anderen Problems, das uns die Thalbildung aufgibt, in jenen Verhältnissen zu suchen, welche störend in das Wirken der Erosion eingreifen.

Einfluss der Gesteine und ihrer Lagerung.

Die Förderung oder Hemmung, welche die Arbeit des Wassers durch die verschiedene Härte, Structur und Absonderung der Gesteine erfährt, muss in der Gestaltung der Thäler zum Ausdrucke kommen. Doch nur zwei Felsarten, Kalk und Löss, sind im Stande, die Erosion ganz und gar von ihrem gewöhnlichen Wege abzudrängen.

Leicht lösliche und von Klüften durchzogene Kalksteine, welche der Verkarstung unterliegen, lassen eine unterirdische Wassercirculation zu. In ihnen kommt es zur Bildung jener kreisrunden Einsturztrichter und trogförmigen Becken, welche die wesentlichen Züge der Karstlandschaft

darstellen.¹⁾ Sie sind sehr häufig im Streichen des Gebirgs zu langen Ketten an einander gereiht, die mit dem Verlaufe deutlich erkennbarer Verwerfungsspalten zusammenfallen. So folgt z. B., wie Reyer gezeigt hat, die Dollinenreihe von Schmarje-Kanzian im Karste stundenweit einer Störungslinie, längs welcher horizontale und steil in N. einfallende Schichten zusammenstossen.²⁾

Diesem topischen Connexe zwischen Dollinenthälern und Bruchlinien liegen natürlich genetische Beziehungen zu Grunde. Das Wasser dringt vorzugsweise auf den Klüften, welche durch die Dislocation des Gebirges aufgerissen wurden, in die Tiefe. Es laugt hier den Kalkstein aus und gibt dadurch längs des ganzen Bruches zur Bildung von Höhlen und Grotten Anlass. Hinterher werden die einzelnen, localen Erweiterungen der Spalte mit einander in Verbindung gesetzt und durch das successive Nachstürzen der Decke immer höher emporgewölbt.³⁾ Tritt nun ein Fluss in ein solches System von Klufthöhlen ein, so wird er sie weiter ausbilden und drainiren. Zugleich entwickelt sich sein Canal aber auch von unten nach oben. Das Gestein im Hangenden bröckelt ununterbrochen ab. Kesselförmige Einbrüche stellen Communicationen mit der Oberfläche her. Schliesslich stürzt die ganze Decke in das unterirdische Flussbett hinab.

Längs der Rekka kommen alle diese Phasen der „subterranean Erosion“ neben einander vor. In seinem Oberlaufe durchzieht der Fluss ein vollkommen ausgebildetes, offenes Thal. Hierauf durchbricht er in einem Stollen die schmale Felsleiste, auf welcher Kanzian liegt. Westlich von dieser Ortschaft wurde sein Canal durch den Einsturz

¹⁾ Ueber das Karstphänomen vergl. namentlich die mit umfangreichen Literaturnachweisen ausgestatteten Arbeiten Tietze's im Jahrb. der Geol. Reichsanstalt, XXIII. S. 48. u. XXX. 733.

²⁾ Reyer, Studien über das Karstrelief. Mitth. der Geograph. Ges. in Wien 1881. S. 79, 85, 101.

³⁾ Vergl. Reyer's Beschreibung der Grotte von Corniale. A. a. O. 81.

des Rekka-Kessels nochmals auf eine kurze Strecke des Gewölbes beraubt. Hier tritt der Fluss zum letzten Male zu Tage. Aus dem Rekka-Kessel setzt er seinen Lauf unterirdisch fort.¹⁾ Doch die Dollinen bei Kanzian beweisen, dass sich auch hier schon der Einsturz der Decke und mit ihm die Entwicklung des Stollens zu einem offenen Thale vorzubereiten beginnt.

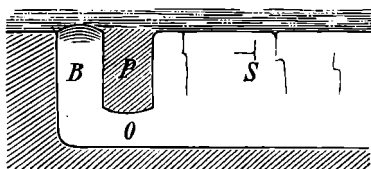
Eine unverkennbare Aehnlichkeit mit der Wirkungsart der Erosion in verkarsteten Kalkregionen zeigt die Ausbildung der Schluchtensysteme in Lösslandschaften. Die Wasserläufe, welche von der Umrandung eines alten Steppenbeckens herabfliessen, schneiden in die äolischen Sedimente allerdings auf dieselbe Weise wie in anderen Gebieten ihre Thäler ein. Aus der Lössmulde selbst aber erhalten sie keinerlei Zuflüsse, da der Boden in Folge seiner Capillarstructur und seiner senkrechten Absonderung das Regenwasser nicht oberflächlich abfliessen sondern allenthalben auf unsichtbaren Klüften in die Tiefe dringen lässt. Nichtsdestoweniger sind die meisten Lössbecken von ausgedehnten und vielfach verzweigten Schluchtensystemen durchschnitten. Richthofen löste diesen scheinbaren Widerspruch durch die Beobachtung einer Art subterranean Erosion.²⁾ Wandert man auf dem in der Regel durch eine Lage von Mergelknauern gebildeten Grunde einer Lössschlucht fort, so bemerkt man zuweilen am Fusse der senkrechten Seitenwände Höhlen, welche nach einigen Schritten in einen Schacht ausmünden, der durch die ganze Lössbank bis zur Oberfläche emporzieht. Am oberen Ende der Schluchten kehrt gewöhnlich dieselbe Erscheinung wieder. Im Niveau der Sohle, am Fusse der halbcylindrischen Rückwand, öffnet sich die Höhle und 3—6^m dahinter der Schacht oder Lössbrunnen, der durch die Höhle mit der Schlucht in Verbindung steht. Er wurde nach Richthofen auf analoge Weise gebildet wie eine

¹⁾ Reyer, a. a. O. 102, 103.

²⁾ China. I. 114.

Dolline. Das Wasser dringt bis auf die Lage der Mergelknauern hinab, fliesst auf dieser undurchlässigen Schichte ab und beginnt so die hangende Lössbank zu unterwühlen. Es entsteht ein Gewölbe, welches durch das Abbröckeln und Nachstürzen der Decke allmählich an Höhe zunimmt und endlich als Lössbrunnen die Oberfläche erreicht. Zugleich wird die Beseitigung der schmalen Scheidewand zwischen dem Schachte und dem Ende der Schlucht in Angriff genommen. „Auch sie geschieht von unten. Es bildet sich eine Brücke, die von unten abbröckelt. Man

Fig. 20.



S Seitenwand einer Lössschlucht. P der hangende Pfeiler. B Lössbrunnen mit einer Oeffnung O in die Schlucht.

sieht sie manchmal nur wenige Fuss dick die beiden Wände der Schlucht verbinden. Zuletzt stürzt sie ganz hinab. Inzwischen ist aber der Unterminirungsprocess bereits weiter zurückgeschritten. Nichts vermag ihn aufzuhalten. Die Fahrstrassen kommen häufig in den Fall an den oberen Enden der Risse vorüberzuführen. Im Laufe der Zeit bildet sich ein Brunnen mitten im Geleise, die Strasse wird durchschnitten und manche aus früherer Zeit ist dadurch unbenützbar geworden.“¹⁾ Wie die Höhlen und Schächte im Hintergrunde der Schluchten die retrograde Verlängerung derselben bewirken, so geben diejenigen, welche die Seitenwände bedrohen, zur Bildung von Nebenschluchten und zur Verzweigung des ganzen Thalsystems Anlass.

¹⁾ Ebenda. 115.

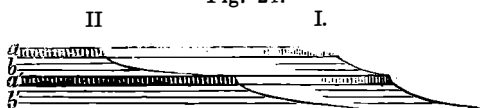
Sieht man von den abnormen Erosionsbedingungen ab, die in Kalk- und Lössregionen gegeben sind, so erweist sich die Gesteinsbeschaffenheit als ein ganz untergeordneter Factor der Thalgestaltung. Die Gehänge steigen allerdings je nach der Härte und Absonderung der Felsarten bald schroffer bald sanfter empor, doch der allgemeine Charakter des Thales lässt sich durch solche unwesentliche Abweichungen nicht verwischen. Kar und Klamm, Sammelgebiet und Abflussgraben kehren überall wieder, wo die Erosion in Wirksamkeit tritt. Die flachen Mulden und Gräben niedriger Schiefergebirge, die Rinnale, welche in die Ränder eines Sandsteinplateaus einschneiden, die weiten, schluchtförmig ausmündenden Calderas der Vulcane, die von prallen Felsmauern umschlossenen Circusthäler der Granitgebirge, die aus ungeheueren Eisamphitheatern herabziehenden Furchen der alpinen Schieferzone — sie alle entsprechen ganz und gar der gemeinsamen Stammform der Erosionsthäler, dem Trichter.

Die accidentiellen Besonderheiten, welche die Thäler in granitischen Gesteinen, in Schiefeln, in Sandsteinen u. s. w. aufweisen, habe ich nicht zu erörtern. Was hierüber zu sagen wäre, findet man in den geologischen Beschreibungen verschiedener Gebirge eingehend behandelt. Von allgemeinerem Interesse ist die Erscheinung, dass gewisse tektonische Verhältnisse, nämlich die Wechselagerung von Gesteinen ungleicher Widerstandsfähigkeit, die Erosion zur Ausbildung bestimmter, regelmässig wiederkehrender Thalformen veranlassen.

Liegen harte und weiche Schichten horizontal übereinander, so wird das rinnende Wasser in seiner Arbeit bald aufgehalten bald gefördert. Das Einschneiden geht, wie wir früher sahen, immer vom Rande, vom Abfalle des ganzen Schichtencomplexes aus. (Fig. 21. I.) Hat der Wasserlauf die oberste harte Gesteinsbank a durchsägt, so schneidet er sich rasch in das weiche Zwischenlager b ein. Erst die zweite harte Bank a¹ setzt ihm einen entschiedenen Widerstand entgegen. Während

er an der Beseitigung dieses Hindernisses arbeitet, greift die Erosion in der weichen Schichtengruppe b immer weiter zurück. Der Stirnrand der obersten Decke a wird in Folge dessen unterwühlt und zum Einsturze gebracht. Er weicht allmählig zurück. Der Abfall der zweiten Bank a¹, der demselben Unterminirungsprocesse ausgesetzt ist, folgt

Fig. 21.

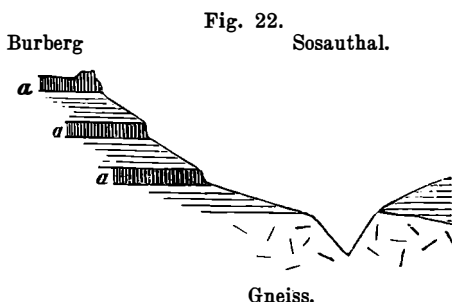


ihm nach, und die Thalsole nimmt im Laufe der Zeit das Profil II an. Die sanftgeneigten, nahezu ebenen Terrassen fallen mit der Oberfläche, die steilen Stufen mit den Rändern der harten Gesteinsbänke zusammen. In vulcanischen Gebieten, wie im basaltischen Mittelgebirge Böhmens, wo massige Ströme und Decken wiederholt mit weichen Tuffen und Conglomeraten alterniren, lässt sich ein solcher Terrassenbau häufig beobachten. Ein sehr schönes Beispiel liefert auch das Haselthal im nördlichen Wasgau. Hier ist dem Rothliegenden eine mächtige Porphyrtafel eingeschaltet, deren Rand an den Abhängen des Gebirges gleich einer Isohypse fortläuft und in der Tiefe jedes einzelnen Thälchens als ein steiler Absturz, als eine prägnante Stufe zu Tage tritt.¹⁾

Selbstverständlich bleibt der Terrassenbau nicht lange erhalten. Das rinnende Wasser lässt nicht früher ab zu erodiren bis es die Stufen durchsägt und den Thalweg in die entsprechende Curve gebracht hat. Aber auch dann gelangt die Wechsellagerung verschieden harter Schichten noch immer in dem Profile der Seitenwände zum Ausdruck. Während die Sohle des Thales von dem Wasserlaufe vertieft wurde, waren die Gehänge den zerstörenden Angriffen des Regens, des Frostes u. s. w. preisgegeben. Die weichen Straten erlagen auch in diesem Kampfe rascher als die

¹⁾ Benecke, Abriss der Geologie von Elsass-Lothringen. S. 103.

harten. Sie nahmen sanfte Böschungen an und brachten dadurch das Ausgehende der hangenden Gesteinsbänke zum Einsturz. Das Resultat war ein terrassirter Abfall. Der Durchschnitt Fig. 22 stellt die rechte Seitenwand des Sosauthales dar, welches bei Kaden in die Nordabdachung des Duppauer Mittelgebirges einschneidet. Die Denudationsreste der basaltischen Decken *a* bilden wandartige Abstürze, während die zwischen ihnen eingeschalteten Tufflagen unter einem Winkel von ungefähr 30° gegen die Thalsole abfallen.



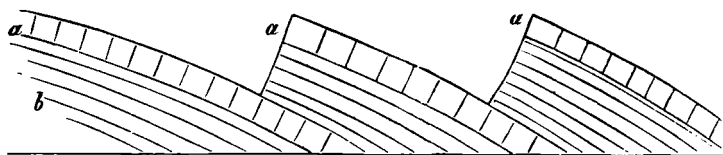
Im grossartigsten Maasstabe ist die Terrassirung der Thalwände in den Cañon- und Mesa-Landschaften Colorados sowie in den Lössregionen Chinas entwickelt.¹⁾ Der treppenförmige Abfall der Lösswände ist den Lagen von Mergelknauern zu danken, welche die einzelnen Lössbänke von einander trennen und den Atmosphärrillen einen kräftigeren Widerstand leisten als diese.

Wo die Straten vom Mechanismus der Gebirgsbildung erfasst und mehr oder weniger steil aufgerichtet wurden, dort machen sich lithologische Differenzen auf verschiedene Weise geltend, je nachdem die Thäler im Streichen der Schichten verlaufen oder dasselbe durchschneiden. Im ersten

¹⁾ Vergl. u. a. Dutton, Tertiary History of the Grand Canon District. Monographs of the U. S. Geol. Survey. Vol. II. p. 250. Holmes' Geologie des San Juan Districtes. U. S. Geol. and Geogr. Survey of Colorado. 1875. p. 255; u. Richthofen, China. I. 67.

Falle äussert sich der Einfluss der ungleichen Widerstandsfähigkeit des Gesteins hauptsächlich in der Gestaltung der Seitenwände. Sehr lehrreich sind in dieser Hinsicht die longitudinalen Erosionsfurchen, welche in die Nordabdachung der Uinta Mountains einschneiden. Dieses westöstlich streichende und vom Green River quer durchbrochene Glied der Felsengebirge stellt nach Powell ein geborstenes Gewölbe dar.¹⁾ Durch den Aufbruch wurden die antiklin

Fig. 23.



gestellten Schichten blossgelegt. Sie sind verschieden hart und konnten daher von der Erosion nicht mit gleichmässigem Erfolge bearbeitet werden. In den isoklinen Verzweigungen der primären Querthäler lässt sich nun deutlich erkennen, dass die Wasserläufe ihre Rinnen nicht senkrecht einschnitten, sondern dem Abfalle der harten Bänke a folgten, das darüber liegende weiche Material b erodirten und in Folge dessen die harte Platte im Hangenden untergruben. So entstanden Thalrinnen, deren sanfte südliche Gehänge mit den Schichtflächen der schwer zerstörbaren Gebirgsglieder zusammenfallen, während an den steilen Wänden der Nordseite unter der schützenden Decke der nächsten harten Bank die Schichtenköpfe der weichen Gesteine zu Tage treten.²⁾

Nicht allein auf das Relief der Seitenwände sondern auch auf den Verlauf der Sohle wirkt die Wechsellagerung heterogener Felsarten in den Querthälern ein. Wenn diese

¹⁾ Exploration of the Colorado River and its tributaries, p. 152 mit Fig. 51.

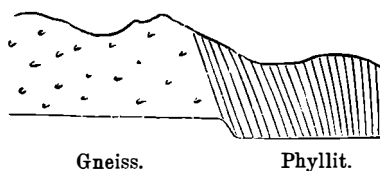
²⁾ Powell a. a. O. 158 u. Fig. 52. Vergl. auch Richthofen, China, II. 605.

mehre Schichtenreihen von abweichender mineralogischer Constitution durchschneiden, so findet die Erosion in den einzelnen Thalstrecken einen verschiedenen Widerstand. Harte Gesteinsbänke, die weicheren Gebirgsgliedern eingeschaltet sind, werden die Aushöhlung und Abtragung des dahinter liegenden Thalbodens verzögern, während die Vertiefung des thalauswärts folgenden Abschnittes ihren ungehemmten Fortgang nimmt. An der Grenze zwischen dieser Strecke und der hinter ihr liegenden resistenteren Schwelle wird demnach eine Stufe entstehen müssen.

Schon vor Jahren hat man den Terrassenbau der Thäler auf solche harte, quer durch das Thal streichende „Riegel“ zurückgeführt,¹⁾ und sehr häufig reicht diese Erklärung in der That aus. In den typischen Erosionsthälern auf der Nordseite der Hohen Tauern trifft sie wiederholt

Fig. 24.

Krimmler Platte.



zu. Die ungeheure Stufe, über welche die Krimmler Ache in den drei berühmten Fällen ins Krimmler Becken hinabstürzt, unterbricht den oberhalb dieser Wasserfälle kaum merklich geneigten Verlauf der Thalsohle gerade an jener Stelle, wo der Gneiss des Venedigerstockes vom Thonschiefer überlagert wird. Auch im Stubachthale ist die Grenze zwischen Gneiss und Schiefer durch ansehnliche Stufen markirt, über welche die beiden Componenten dieses wilden Hochthales, das Wasserfall- und Oedenwinkelthal, ihre Bäche in prächtigen Cascaden herabstäuben lassen. Unter-

¹⁾ Vergl. Peters, Die geol. Verh. des Oberpinzgaues. Jahrb. der Geol. Reichsanstalt. V. 808; Rüttimeyer, Ueber Thal- und Seebildung, S. 62; Sonklar, Allgem. Orographie, S. 129.

halb der Vereinigung dieser beiden Quellbäche dehnt sich der flache Enzinger Boden aus. Seinen Abschluss bildet ein mächtiges, dem Amphibolschiefer eingeschaltetes Lager dunklen Serpentin, welcher das Thal quer durchsetzt und an seinem östlichen Gehänge hoch hinauf, bis zu dem schroffen Rettenkogel zu verfolgen ist. Dieser Serpentinriegel, ein Umwandlungsproduct des anstehenden Hornblendegesteins, ragt aus dem nicht umgewandelten Schiefer wie ein Quarzgang hervor und veranlasste dadurch die Entstehung einer zweiten, gegen 200^m hohen Stufe.

Nirgends sind solche Thalstaffeln, die man wegen ihrer Abhängigkeit vom Gebirgsbaue „tektonische Stufen“ nennen könnte, schärfer ausgeprägt als an den Rändern der Tonalitmasse des Adamello. Dieser gewaltige Eruptivstock wird rings von steil aufgerichteten paläolithischen Schiefern, vom Rothliegenden und von triadischen Ablagerungen mantelförmig umhüllt. Wo die radial ausstrahlenden Thäler aus dem massigen, harten Tonalit in die leicht zerstörbare sedimentäre Randzone übertreten, brechen ihre Sohlen plötzlich in jähren Stufen ab. Der Oberlauf des Chiese — Val die Fumo — und die westlichen Verzweigungen des Sarcathales zwischen Pinzolo und Tione, insbesondere Val di Borzago und Val di S. Valentino, liefern die schönsten Beispiele.¹⁾

¹⁾ Lepsius, Das westl. Südtirol. S. 196 u. 213. — Lepsius hält die Thäler des Tonalitstockes, namentlich Val Genova u. Val di Fumo, für „Spalten“, bringt jedoch für diese Ansicht nichts als vage Muthmaassungen vor, die keine Anhaltspunkte für eine sachliche Erörterung bieten. Er sagt S. 150: „Entweder entstanden diese Spalten bei der Erhebung des Gebirgs oder es spaltete die gewaltige Tonalitmasse durch ihr eigenes Gewicht auseinander. Wahrscheinlich wirkten beide Factoren zusammen, so dass die primären Spalten im Laufe der Zeit und noch heute secundär durch die Schwerkraft der Massen erweitert werden.“ Die mechanische Ungeheuerlichkeit dieser Annahme ist ihre beste Widerlegung. Der erosive Charakter der Tonalithäler lässt sich übrigens sehr leicht nachweisen: Sie schneiden nur von aussen in den Eruptivstock ein, ohne ihn quer zu durchbrechen; in morphologischer Hinsicht zeichnen sie sich durch die

Diese und viele andere analoge Erscheinungen beweisen unwiderleglich, dass die lithologisch-tektonischen Verhältnisse unter günstigen Umständen die Wirkungen der Erosion modificiren und zur Stufenbildung Anlass geben. Die Theorie liess sich jedoch eine voreilige Verallgemeinerung dieser unbestrittenen Thatsache zu Schulden kommen. Fürs erste ist denn doch wohl die Frage gestattet, woher man in allen Fällen weiss, dass dieses Gestein härter ist als jenes. Ich will ohne weiteres zugeben, dass der Serpentin der Verwitterung und auch der Erosion besser widersteht als ein Hornblende- oder Chloritschiefer, dass der Centralgneiss härter ist als die Schieferhülle u. s. w. Damit begnügt sich aber die Theorie nicht. Sie spricht auch den einzelnen Gliedern der Schieferhülle nach Bedarf einen verschiedenen Widerstand gegen die Erosion zu. Auf welchem Wege sie zu diesen subtilen Unterscheidungen gelangt, mag ein concreter Fall zeigen. Nach Supan liegen die Stufen des oberen Oetzthales „in verhältnissmässig festen, die dazwischen befindlichen Becken aber in weicheren Gesteinspartien.“¹⁾ Doch welche Namen führen denn diese verhältnissmässig festen und weichen Gesteinspartien? Der Wahrheit gemäss muss man bekennen: Sowohl die Stufen als auch die Becken liegen theils im Glimmertheils im Hornblendeschiefer. Die schauerliche Kuhtrain-schlucht, welche bei Zwieselstein beginnt, ist in denselben Glimmerschiefer eingeschnitten, der die Umrandung des Söldner Beckens bildet, und die schroffen Gehänge der thalabwärts folgenden Engen „Im Brand“ gehören demselben Hornblendeschiefer an, der auch noch zu beiden

reinste Trichterform aus, da ihre engen Rinnen zu weiten, vergletscherten Kesseln und Amphitheatern emporsteigen; endlich finden sie in den selbst von Lepsius für Erosionsthäler gehaltenen Furchen der Randzone ihre unmittelbare Fortsetzung. Wären sie Spalten, so bliebe diese Continuität unerklärlich.

¹⁾ Studien über die Thalbildung des östl. Graubündens und der Tiroler Central-Alpen. S. A. aus den Mitth. der Geogr. Ges. in Wien. 1877. S. 92.

Seiten des nächsten Beckens bis Längenfeld ansteht. Man kann sich hievon ohne jede Mühe auf dem Thalwege zwischen Huben und Längenfeld überzeugen. Derselbe führt knapp an der düsteren Felsmauer des Burgsteins vorbei, dessen Fuss von keiner Schutthalde verhüllt wird sondern unmittelbar aus dem ebenen Thalgrunde jäh emporsteigt. Er besteht aus einem dunklen, ungemein festen Amphibolschiefer, welcher, wenn er nicht in der Mitte eines Beckens sondern an dem oberen Rande einer Thalstufe zu finden wäre, als der Typus eines „Riegels“ angesehen würde.

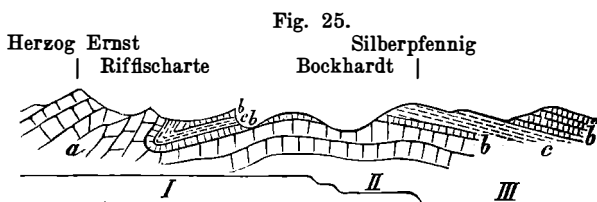
Wie kam nun Supan zu der Erkenntniss, dass der Hornblendeschiefer der Schlucht „Im Brand“ härter sei als der des Längenfelder Beckens? Er schloss einfach folgendermaassen: In der Gesteinspartie von Brand hat die Ache eine enge Klamm ausgenagt, in der von Längenfeld dagegen liegt ein weites Becken; folglich ist jene härter, diese weicher. Diese logische Operation wird uns jedoch nicht mitgetheilt. Wir erfahren erst den weiteren Schluss: Die Gesteinspartie von Brand ist härter als die von Längenfeld, folglich musste sich in jener eine Stufe, in dieser ein Becken bilden — ein Zirkelschluss in optima forma!

Das soeben besprochene Beispiel steht keineswegs vereinzelt da. Es gibt sehr viele Alpenthäler, deren Terrassenbau sich nicht aus den lithologischen Verhältnissen erklären lässt. So ist z. B. das Gelththal in der Rieserferner-Gruppe von seinem vergletscherten Hintergehänge bis zur Mündung in's Reinthal nur in Granit eingesägt¹⁾ und trotzdem durch eine energische Stufenbildung ausgezeichnet. Das Kapruner Thal²⁾ liegt seiner ganzen Längenerstreckung nach in der Schieferhülle, an deren Zusammensetzung sich hier in erster Reihe der den

¹⁾ Jahrb. der Geolog. Reichsanstalt 1881, S. 448.

²⁾ Ueber seine Topographie vergl. Sonklar: Die Hohen Tauern, S. 88 ff.

nordöstlichen Tauern so charakteristische Kalkglimmerschiefer theilhaftig. Er bildet im hinteren Kapruner Thale die herrschende Felsart, in welcher sowohl die oberste Stufe als auch der Alluvialboden der Fürther Alm und die untere, Limberger Stufe liegen. Wo sind nun die harten Gesteinsriegel zu suchen, denen die Entstehung dieser Stufen zugeschrieben werden könnte? Sonklar beruft sich auf zwei Schichten körnigen Kalkes, welche die Erosion gemässigt und so die beiden Thalabsätze hervorgerufen haben sollen. Er übersieht aber, dass sich solche Uebergänge des Kalkglimmerschiefers in reinen Kalk auch in der Fürther Terrasse finden; hier wie dort ist ihre Mächtigkeit viel zu gering, als dass sie den Entwicklungsgang des Thales hätten beeinflussen können. Sonklar's Angabe erweist sich demnach als ein Zugeständniss an die Theorie. In der That vermag diese den Kapruner Terrassenbau ebensowenig zu erklären wie jenen des Galtthales. Nicht weniger räthselhaft sind die bedeutenden



Profil des oberen Gasteiner Thales (Posepny).

a Centralgneiss, b Glimmerschiefer, c Kalkglimmerschiefer.

I. Nassfeld, II. Terrasse von Böckstein, III. Unterer Gasteiner Thalboden.

Stufen, welche die meisten Tauerntäler in der Nähe des Hauptkammes, in der Region des Centralgneisses bilden. Das obere Krimmler Achenthal, das Ammerthal, die Dorfer Oed, das Wasserfall- und Oedenwinkelthal, das Maltathal, welches ganz in den Gneiss der Ankogel-Masse eingeschnitten ist und nichtsdestoweniger eine Reihe prägnanter Stufen besitzt — sie alle lassen die zur Terrassenbildung erforderlichen harten Gesteinsriegel vollständig vermissen. Besonders verhängnissvoll für die

herrschende Theorie sind jedoch die Beobachtungen, die sich dem Wanderer aufdrängen, der vom Mallnitzer Tauern nach Wildbad-Gastein herabsteigt. Gleich am Nordfusse des Hauptkammes beginnt das eben ausgebreitete „Nassfeld“, ein alter Gletscherboden mit zahlreichen Moränenhügeln und ganzen Moränenzügen. Seine Umrandung und überhaupt das ganze Gebirge bis unterhalb Gastein besteht aus Gneiss. Es findet keine Wechsellagerung verschieden harter Gesteinsbänke Statt; und doch kann die Stufenbildung des oberen Gasteiner Thales an Grossartigkeit beinahe mit jener des Stubachthales wetteifern. Von der Engthorbrücke am Ausgange des Nassfeldes stürzt die Ache in einer Reihe von Wasserfällen 430^m tief auf die Terrasse von Bockstein hinab, und diese ist von dem unteren Gasteiner Becken durch eine zweite, gegen 100^m hohe Stufe getrennt. Am Fusse dieses letzten Absturzes beginnt das eigentliche Gasteiner Thal, welches zwischen Wildbad und Hofgastein die Ankogel-Masse verlässt und in die Schieferhülle eintritt.¹⁾ Während es aber in der Region des Gneisses einen ganz unmotivirten Terrassenbau besitzt, ist sein Uebergang aus dem Gneisse in die Schieferhülle orographisch auch nicht einmal angedeutet. Diese auffallende Erscheinung enthüllt eine neue Schwäche der Riegeltheorie, einen neuen Angriffspunkt für unsere Kritik. Wäre die Theorie richtig, dann müsste das langgestreckte Gasteiner Becken in zwei verschieden hohe, durch eine deutliche Stufe von einander getrennte Terrassen zerfallen. Die Gesteinsgrenze wird jedoch durch keine Stufe bezeichnet, folglich ist die Theorie falsch.

Die Zahl der Thäler, welche analoge Verhältnisse zeigen wie Gastein und daher zu demselben Schlusse berechtigen, ist sehr gross. Ich bescheide mich mit der Anführung einiger besonders charakteristischer Beispiele. Eines der merkwürdigsten Tauernthäler ist das Habach-

¹⁾ Vergl. Posepny's Specialkarte zu „Goldbergbaue“ der Hohen Tauern“. (Archiv für praktische Geologie, I, Tafel 1.)

thal. Es zieht als eine schnurgerade Rinne von gleichbleibender Breite, ohne Stufen- und Beckenbildung unter gleichmässigem, aber sehr bedeutendem Gefälle ($8^{\circ} 32'$ nach Sonklar) zur Salzach herab. Mitten in seinem Verlaufe wird es von einer mächtigen Gneisszone quer durchsetzt. Es wäre also ein Riegel gegeben, der im Vereine mit dem starken Gefälle eine scharf ausgeprägte Thalstufe hätte hervorrufen sollen, zumal das unmittelbar anstossende Gestein ein ziemlich weicher Chloritschiefer ist. Auch das gegen W. folgende Untersulzbachthal besitzt zwischen zwei Glimmerschieferzonen einen Gneissriegel, ohne dass diese lithologischen Verhältnisse in einer Stufe zum Ausdrucke gelangten. Auffallend ist in dieser Hinsicht der Gegensatz zwischen dem Unter- und dem Obersulzbachthale. Derselbe Gneissriegel, der in jenem nicht die geringste orologische Bedeutung besitzt, veranlasste in diesem eine nicht unbedeutende Stufe.

Die angeführten Beispiele genügen, um darzuthun, dass der Uebertritt eines Thales aus härteren in weichere Gesteine nicht unbedingt die Entstehung einer Stufe im Gefolge haben muss. Vorher aber wurde nachgewiesen, dass die petrographische Gleichartigkeit der einzelnen Thalstrecken die Terrassenbildung keineswegs ausschliesst. Diese beiden Thatfachen: Erstens, es kommen keine Stufen vor, wo die Theorie Stufen voraussetzen muss; und zweitens, es kommen Stufen vor, wo der Theorie zu Folge keine vorkommen dürfen — reichen vollständig hin, die Riegeltheorie in ihrer allgemeinen Fassung, welche jeden anderen Erklärungsversuch ausschliesst, ad absurdum zu führen.

Ungleich entschiedener als im Kampfe mit dem rinnenden Wasser macht sich die verschiedene Widerstandsfähigkeit der Felsarten den Angriffen der Atmosphärien gegenüber geltend. Dafür spricht das Aussehen der Thalwände, in welchem sich die Wechsellagerung harter und weicher Schichtengruppen selbst dort noch widerspiegelt, wo der Verlauf der Sohle durchaus keine Abhängigkeit vom Gebirgs-

baue verräth. In den Hohen Tauern findet man diese Beobachtung allenthalben bestätigt. So zerfällt z. B. das Hollersbachthal, welches bei der Ortschaft gleichen Namens in den Pinzgau ausmündet, in zwei scharf getrennte Abschnitte. Bis zur Sausteineralpe herab schneidet es in ungemein harten Hornblendegneiss ein. Seine Gehänge bilden auf der ganzen Strecke pralle Felsmauern, an deren Fusse sich nur kleine Trümmerhalden ansammeln. Unterhalb der Alpe, wo der Amphibolit von weichen Grünschiefern überlagert wird, nehmen die Gehänge nicht allein sanfte Böschungen an sondern entsenden auch mächtige Schuttmassen, welche die Bildung von Seebecken und Dammstufen herbeiführten.

Bemerkenswerth ist in dieser Hinsicht der Terrassenbau des Antholzer Thales. Sein oberstes Becken, welches den Antholzer See beherbergt, liegt am Fusse des granitischen Hochgallstockes, der auf dieser Seite in jähem, unersteiglichen Wänden abstürzt. Der See wurde durch einen mächtigen, von der Rothen Wand herabziehenden Schuttkegel aufgestaut, welcher sanft geneigt bis zu den gegenüberliegenden Trümmerhalden des Wildgall reicht und so das Thal quer absperirt. Seine Aussenböschung bildet eine hohe, aber ungemein sanft abfallende Stufe. An ihrem Fusse breitet sich der ebene, stellenweise versumpfte Alluvialboden von Mitterthal aus, ein altes Seebecken, dessen Entstehung uns sofort klar wird, wenn wir gegen Niederthal wandernd jenen grossen Schuttkegel übersteigen müssen, der von der rechten Thalwand herabhängt und im Vereine mit einem kleineren Schuttkegel der gegenüberliegenden Seite den Thalgrund zu einer schmalen Schlucht zusammenschnürt. Auf diese zweite, etwa 80^m hohe Stufe folgt die ausgedehnte Terrasse von Antholz oder Niederthal, welche erst bei Rasen, unmittelbar vor der Mündung in's Pusterthal, durch ansehnliche Schuttkegel abgeschlossen wird. Die Anordnung aller dieser Becken und Stufen ist durchaus keine zufällige; sie steht vielmehr in einer un-

verkennbaren Beziehung zum Gebirgsbaue. Vom Staller-sattel bis herab nach Mitterthal folgt der Antholzer Bach der Grenze zwischen dem Granite der Hochgallmasse und deren Schieferhülle. Der Schieferhülle aber entstammt jener Schuttkegel, der den See aufdämmte. Das untere Antholzer Thal durchbricht als echtes Querthal zunächst die Mitterthaler Granitlinse, hierauf eine Zone von Glimmerschiefer, dann die Gneissantiklinale von Antholz und tritt endlich in die Pusterthaler Phyllitzone ein.¹⁾ Die beiden Thalhänge wurzeln nun, soweit sie dem Glimmerschiefer und Phyllite angehören, in mächtigen Schuttkegeln; im Granite und Gneisse aber bilden sie steil abstürzende Wände, deren Fuss nur durch dürftige Trümmerhalden verhüllt wird. So ist es zu erklären, dass die Stufen des Antholzer Thales gerade an jene Gebirgsglieder gebunden sind, welche der Erosion einen relativ geringen Widerstand leisten.

Merkwürdigerweise gibt es nun auch Stufen im anstehenden Gesteine, welche ebenso wie die Dammstufen des Antholzer Thales der Riegeltheorie zum Trotze in weiche Schichtenreihen eingeschnitten sind. Ein ausgezeichnetes Beispiel ist der „Grawander Schinder“ in dem wegen seiner landschaftlichen Schönheit berühmten Schwarzensteingrunde der Zillerthaler Alpen.²⁾ Der orologische Charakter dieser interessanten Thalstufe ergibt sich erst aus der Structur des ganzen Gebietes. Wie wir früher sahen, besteht der Zillerthaler Gebirgskern längs des Durchschnittes Luttach-Hornspitze-Ingent-Riffler aus zwei Gneissgewölben, zwischen denen eine Mulde von Glimmer-Hornblende-Chlorit- und Talkschiefer eingeklemmt ist.³⁾ Gerade an der Grenze zwischen dieser Schieferzone und der nördlichen Gneissantiklinale bildet der Schwarzenstein-

1) Vergl. den südlichen Theil des Tauernprofils. Fig. 5.

2) Einen „Schinder“ nennt der Zillerthaler jeden steilen, schweisstreibenden Anstieg.

3) Vergl. Fig. 8.

grund die jähe, gegen 300^m hohe Stufe von Grawand. Dass diesem örtlichen Zusammentreffen kein Zufall sondern ein Gesetz zu Grunde liegt, lehrt ein Blick auf den Schlegeisengrund, den westlichen Nachbar des Schwarzensteinthales.¹⁾ Auch er durchschneidet die nach Pfitsch hinüberstreichende Schiefermulde und auch seine Sohle erscheint am unteren Rande des Schieferzuges gebrochen.²⁾ Die Riegeltheorie muss aus dieser Erscheinung den Schluss ziehen, dass der weiche, blättrige Schiefer der Erosion einen kräftigeren Widerstand leistet als der feste Gneiss! Uns aber erinnert der Grawander Schinder und die Stufe von Schlegeisen sofort an den Terrassenbau des Antholzer Thales. Wie hier die stauenden Schuttkegel nur in die Schieferzone fallen, ebenso muss der Schwarzensteingrund an jener Stelle, wo er die Synklinale der brüchigen, leicht erodirbaren Schiefer durchschneidet, der Schauplatz wiederholter Bergstürze gewesen sein, welche den obersten Thalboden der Erosion entrückten, zugleich aber durch die Steigerung des Gefälles die raschere Aushöhlung der unteren Thalstrecke begünstigten und so unmittelbar eine Dammstufe, mittelbar aber auch eine Stufe im anstehenden Gesteine hervorriefen

Somit haben wir die Ursache, welche dem Terrassenbaue der meisten Hochthäler zu Grunde liegen dürfte, gefunden. Es ist dieselbe, die noch jetzt, unter unseren Augen, zur Entstehung von Seebecken Anlass gibt. Das erklärt die Analogie zwischen den Dammstufen und den Stufen im anstehenden Gesteine: Beide sind, wo sie überhaupt eine Beziehung zu dem Aufbaue des Gebirgs erkennen lassen, nicht so, wie die zuerst behandelten tektonischen Stufen der Adamellothäler u. s. w. an harte Gesteinsbänke sondern im Gegentheile an weiche, leicht zerstörbare Einschaltungen gebunden.

¹⁾ Vergl. Fig. 7.

²⁾ Die Stufe, die hier — oberhalb der Herbergalpe — entstand, ist nur deshalb unverhältnissmässig niedriger als der Grawander Schinder, weil die Erosion im Schlegeisengrunde schon seit Langem feiert.

Verschiebungen der Strandlinie und Gebirgsbildung.

Ein treppenförmiger Abfall der Thalwände lässt, wie wir im basaltischen Mittelgebirge Böhmens sahen, auf eine Wechsellagerung horizontaler Straten von verschiedener Widerstandsfähigkeit schliessen. Es gibt aber auch Gehängterrassen, die von der Anordnung der Felsarten ebenso unabhängig sind wie manche Stufen der Sohle. Dass an den Seitenwänden des Reussthal's trotz der nahezu seigeren Schichtenstellung deutlich erkennbare Lateralterrassen fortlaufen, hat schon Rüttimeyer nachgewiesen. Er deutete alle diese über einander liegenden Gesimse als die letzten Reste älterer Thalböden und erblickte daher in ihnen mit Recht die zuverlässigsten Kriterien der Thalerosion.¹⁾

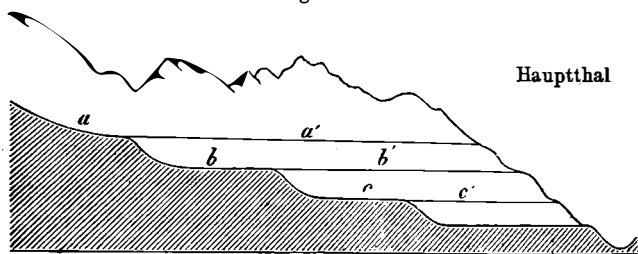
In neuerer Zeit nahm Heim die Untersuchungen Rüttimeyer's wieder auf. Er zeigte, dass im oberen Reussthale die einzelnen Lateralterrassen demselben Niveau angehören wie die im Thalgrunde auf einander folgenden und durch Stufen getrennten Thalterrassen. Hat man die unterste Stufe überwunden, die erste Terrasse erreicht und blickt von hier thalauswärts, so kann man deutlich wahrnehmen, dass sich die Thalterrasse, auf der man steht, an beiden Gehängen in Lateralterrassen fortsetzt. Dieselbe Erscheinung wiederholt sich in den höheren Niveaux. Jede Thalterrasse stellt mit den entsprechenden Gehängterrassen einen alten, sanft geneigten Thalboden dar. Die eingehenden Forschungen Heim's ergaben weiter, dass diese alten Thalböden nicht auf das Reussthal beschränkt sondern auch in seinen Nebenthälern erhalten sind, und zwar immer in demselben Niveau trotz der verschiedenen Felsarten und ihrer abweichenden Lagerung.²⁾ Selbstverständlich gehören alle

¹⁾ Rüttimeyer, Ueber Thal- und Seebildung, 24 ff.

²⁾ Im Reussgebiete hat man im ganzen fünf solche Terrassensysteme oder Thalböden zu unterscheiden, welche von Heim auf einer Specialkarte mit verschiedenen Farben bezeichnet wurden und sehr deutlich hervortreten. Jahrb. des Schweizer Alpenclub 1879. Taf. 1.

Thalsohlen dieser Art mit ihrem sanften Gefälle Perioden an, in denen die Erosion feierte und der Fluss in trägen Serpentinien sein Bett nicht zu vertiefen sondern zu erweitern suchte. Wurde die Erosion periodisch wieder erweckt, so musste sie zunächst am Austritte des Thales aus dem Gebirge eine neue Rinne ausspülen, welche hierauf immer weiter zurückgriff, in den älteren Thalboden einschnitt und ihn schliesslich bis auf unbedeutende Reste — die Thal- und Gehängterrassen — verdrängte. Jede Stufe ist also streng genommen als das Hintergehänge einer selbständigen, durch die Wiederbelebung der Erosion hervorgerufenen Thalfurche anzusehen.

Fig. 26.



a b c Thaltterrassen; a' b' c' die entsprechenden Lateraltterrassen.

Diese Erklärung des Terrassenbaues besteht auf den ersten Blick. Sie entspricht nicht allein unserer Kenntniss von den Wirkungen des fliessenden Wassers sondern wird auch der an vielen Orten beobachteten Unabhängigkeit der Thalgestaltung vom Gebirgsbaue gerecht. Fragen wir aber nach der Ursache des Wechsels zw'schen Vertiefung und Ausweitung, so antwortet Heim nach dem Vorgange Dana's mit einer Hypothese, die uns in ein Netz von Widersprüchen verstrickt: Das period'sche Erwachen der Erosion soll auf „Hebungen“ zurückzuführen sein. Doch welcher Kraft man eine nachträgliche Hebung der längst gefalteten Alpen zuschreiben darf, wird uns nicht gesagt. Sollen wir etwa dem Terrassenbaue des Reussthalcs zu

Liebe auf's neue jene Hypothesen hervorsuchen, die man für immer abgethan hielt?

Die Geologie der Gegenwart kann unter einer allgemeinen Hebung der Alpen nichts Anderes verstehen als eine mittelbar durch die Schrumpfung des Erdkerns und unmittelbar durch die Runzelung der Erdrinde hervorgerufene Falte von ungeheurer Amplitude. Doch eine solche Falte kann vielleicht in einer Region, welche vorher nicht dislocirt war, aufgetrieben werden,¹⁾ nie aber in einem Gebirge, welches so complicirte Faltungen, Brüche und Ueberschiebungen aufzuweisen hat wie unsere Alpen. Im Gebirgskerne des St. Gothardt, im Gebiete der Glarner Schlinge u. s. w. muss sich jede in der Lithosphäre vorhandene Spannung sofort an unzähligen Angriffspunkten zersplittern. Sie ist nicht mehr im Stande, eine einzige Falte von grosser Spannweite zu erzeugen sondern wird unmittelbar in eine ganze Reihe untergeordneter, im Gebirgsbaue vorgezeichneter tektonischer Erscheinungen umgesetzt: Hier ist ein Bruch zu vergrössern, dort gilt es, ein aufrecht stehendes Gewölbe zu überstürzen oder eine zusammengedrückte Falte zum Bersten zu bringen und den einen Flügel über den anderen hinwegzuschieben u. s. w.

Solche Vorgänge, ohne welche man sich die „Hebung“ eines Faltengebirgs gar nicht vorstellen kann, würden natürlich in den Resten der alten Thalböden zum Ausdrucke kommen; die Lateralterrassen müssten in ihrem Verlaufe auffallende Unregelmässigkeiten und Niveauschwankungen erkennen lassen. Davon ist jedoch nichts wahrzunehmen. Die alten Thalsohlen behalten vielmehr auf weite Entfernungen hin ihr gleichmässig sanftes Gefäll bei und beweisen daher genau so wie ausgedehnte horizontale Transgressionen über dislocirten Schichten, dass sie erst nach dem Abschlusse der Gebirgsbildung entstanden.

Eine Hebung kann also nimmermehr die Erosion wiedererweckt und zur Aushöhlung einer neuen Rinne

¹⁾ Vergl. Daubrée, Experimental-Geologie 225.

befähigt haben. Doch Rütimeyer's und Heim's Beobachtungen im Reussthale sind nicht anzufechten. Irrig ist nur ihre genetische Deutung. Jedes Querprofil des oberen Reussthales beweist, dass Perioden rascher Vertiefung mit Perioden des Stillstandes im Thalbildungsprocesse abwechselten. Wenn sich nun dieser Wechsel nicht auf wiederholte Hebungen zurückführen lässt, auf welche Weise ist er dann zu erklären? Es bleibt wohl nur die eine Annahme übrig, dass die letzte Ursache der besprochenen Erscheinungen in säcularen Schwankungen des Meeresniveaus zu suchen ist. So führt uns der Terrassenbau der Erosionsthäler zu der neuerdings von Suess und Penck vertretenen Hypothese, dass die periodischen Verschiebungen der Strandlinie nicht mit Hebungen oder Senkungen der Continente sondern mit dem Vordringen oder dem Rückzuge des Meeres in Verbindung zu bringen sind.¹⁾

Ein Schüler Heim's, Bodmer, versuchte in einer mühevollen, die Hauptflussgebiete der Schweiz behandelnden Arbeit den Nachweis zu führen, dass die im Reussthale beobachteten Erscheinungen allenthalben wiederkehren.²⁾ Er glaubt aus den Forschungen Rütimeyer's und Heim's sowie aus seinen eigenen kartographischen Studien³⁾ die Thatsache ableiten zu dürfen, dass sich die Thal- und Gehängterrassen sämtlicher Alpenthäler in einzelne über einander liegende Systeme einreihen lassen, welche die Reste der alten Thalböden darstellen. Die neue Theorie, welche die Stufenbildung auf einen periodischen Wechsel

¹⁾ Suess, Ueber die vermeintlichen säcularen Schwankungen einzelner Theile der Erdoberfläche. Verhandl. d. Geol. Reichsanstalt. 1880. S. 171. Penck, Schwankungen des Meeresspiegels. VII. Jahresbericht der Geograph. Ges. München.

²⁾ Bodmer, Terrassen und Thalstufen der Schweiz, ein Beitrag zur Erklärung der Thalbildung. Zürich 1880.

³⁾ Seine Mittheilungen über den Terrassenbau der wichtigsten Schweizer Flusssysteme beruhen nicht auf Autopsie sondern nur auf dem Studium genauer Karten. Sie besitzen daher bei weitem nicht jene Beweiskraft, welche den Untersuchungen Rütimeyer's und Heim's innewohnt.

zwischen dem Stillstande und dem Wiedererwachen der Erosion zurückführt, erhebt also denselben Anspruch auf allgemeine Geltung und Anwendung, thut der Natur ebenso Gewalt an wie die alte Riegel-Theorie, ist aber auch ebenso leicht zu widerlegen — richtiger gesagt: einzuschränken — wie diese.

Aus der Kategorie der Erosionsstufen im Sinne Heim's müssen zunächst alle jene Stufen ausgeschieden werden, welche steile Abstürze bilden und das Thal, von Weitem gesehen, als mauerähnliche, geschlossene Querwälle abzusperren scheinen. Die Thalerosion kann nur Schluchten und Klammen ausnagen, nie aber breite, wandartige Abstürze, welche den Wasserlauf quer durchsetzen; sie ist im Gegentheile stets bemüht, solche Hindernisse entzwei zu sägen und zu beseitigen. An wenigen Orten dürfte sich dieses Bestreben so deutlich erkennen lassen wie im Maierhofer Becken, wo sich das Zillerthal in seine vier „Gründe“ verzweigt. Diese — der Zillergrund, die Stilluppe, der Zemm- und der Tuxer Grund — mündeten einst über hohen, durch die raschere Vertiefung des Zillerthales hervorgerufenen Ausgangsstufen, von denen die des Tuxer Grundes vollständig erhalten ist, während die der anderen drei Gründe nur noch aus schmalen Terrassenansätzen am Grünberge, Tristner und an der Ahornspitze reconstruirt werden können. Die rückschreitende Erosion vermochte diese Stufen nicht thaleinwärts zurückzudrängen sondern durchschnitt sie in tiefen Klammen. An die Stelle der jähren Stufen und Wasserfälle traten Schluchten und Katarakte. Alle jene mauerähnlichen Abstürze der Thalsole, wie sie in den Hochalpen so häufig vorkommen, sind also nicht auf einer Wanderung thaleinwärts begriffen sondern an Ort und Stelle entstanden durch Vorgänge, die mit der Erosion im engeren Sinne nichts gemein haben können.

Ein zweites, nicht minder entscheidendes Argument gegen Heim's Theorie liegt in der räumlichen Vertheilung der Thalstufen innerhalb gewisser Flusssysteme. Auch

hiefür liefern die Zillerthaler Alpen ein ausgezeichnetes Beispiel. Bei dem Jägerhause Breitlahner, fünf Wegstunden hinter Maierhofen, gabelt sich das Zemmthal in zwei Aeste, den Schwarzensteingrund und das Pfitschgründl. Beide Hochthäler besitzen in der Nähe von Breitlahner grossartige Stufen. Seltsamer Weise erhebt sich aber der „Breitlahner Schinder“, die Stufe des Pfitschgründls, unmittelbar hinter dem Bachzwiesel, während man im Schwarzensteingrunde noch eine volle Stunde eben thaleinwärts wandern muss, ehe man dessen Stufe, den oben besprochenen „Grawander Schinder“ erreicht. Die beiden gletscherreichen Hochthäler entsenden Bäche von nahezu gleicher Mächtigkeit, und trotzdem sollte die Erosion in ihrem Krebsgange den nächst höheren und älteren Thalboden im Pfitschgründl nur um einige Schritte, im Schwarzensteingrunde dagegen um 5 Km. zurückgedrängt haben? Heim's Theorie zwänge uns hier in der That zu einer ganz absonderlichen Annahme.

Derselbe Widerstreit zwischen Natur und Theorie offenbart sich auch in anderen Gebieten. Auf der Nordabdachung der Hohen Tauern z. B. dependiren alle Thäler und Thälchen von der grossen Längenfurche der Salzach, und trotzdem gibt es nicht zwei unter ihnen, welche in der Anordnung ihrer Stufen und Terrassen mit einander übereinstimmen.

Dana's und Heim's Ansicht, dass die Erosion durch Hebungen zum Einschneiden in die älteren Thalböden befähigt wurde, steht in inniger Verbindung mit einer Hypothese, die ein wichtiges Problem der Orologie zu lösen sucht.

Wir haben die Entstehung und Ausbildung der Thäler bisher ohne Rücksicht auf gleichzeitige Aeusserungen der gebirgbildenden Kräfte verfolgt, obzwar die Erosion in der Regel durch den Beginn der Faltung eingeleitet wurde und vor dem Abschlusse derselben jedenfalls schon Ansehnliches geleistet hatte. Wo immer die beiden Factoren der Thalbildung, der zerstörende Einfluss des Dunstkreises und die aufbauenden Wirkungen der terrestrischen Contraction

zu gleicher Zeit zur Geltung gelangen, dort muss sich der Gegensatz zwischen ihren Tendenzen in der Gestaltung des Reliefs auf irgend eine Weise äussern. Es handelt sich hier zunächst um die Frage, ob die Erosion der Gebirgsbildung oder diese der Erosion überlegen ist, ja ob sich überhaupt ihr Kräfteverhältniss feststellen lässt. Findet man mit Heim in den übereinander liegenden Gehängterrassen einen Beweis für die intermittirende Hebung des ganzen Gebietes, dann hat man nur noch einen Schritt zu der Annahme, dass die Flüsse ihre Thäler den Veränderungen des Bodens anpassen und dass die Erosion mit der Gebirgsbildung gleichen Schritt hält.

Meines Wissens war Powell der erste, der diese Hypothese aufstellte, um die Entstehung der Querthäler zu erklären.¹⁾ Er behauptet z. B., dass der Green River schon lange dem Colorado zufluss, ehe die Uinta Mountains, welche jetzt von ihm quer durchbrochen werden, als Gebirge bestanden. Ihre Aufstauung soll allmählich und so langsam erfolgt sein, dass die Aushöhlung des Querthales nicht hinter ihr zurückblieb, mit anderen Worten, dass der Green River stets sein ursprüngliches Niveau beizubehalten vermochte, während das Gebirge zu beiden Seiten immer höher emporstieg. Nach Powell liesse sich daher jeder Fluss, der ein Falten-system durchbricht, mit einer Säge vergleichen, die ohne selbst von der Stelle zu rücken einen gegen sie herangeschobenen Klotz entzweischneidet.

Ebenso wie Powell, doch unabhängig von ihm und auch unabhängig von einander erklärten Tietze und Medlicott die Entstehung der Querthäler.²⁾ Am gründlichsten ging Tietze zu Werke. Er lernte im Albus eine Reihe typischer Durchbruchsthäler kennen, deren Flüsse

¹⁾ Exploration of the Colorado River etc. Washington 1875, p. 152, 153.

²⁾ Tietze, Bemerkungen über die Bildung von Querthälern. Jahrb. der Geolog. Reichsanstalt. 1878. Blanford and Medlicott, Man. of the Geology of India. 1879, p. 675.

verhältnissmässig niedrigen Quellgebieten entstammen und trotzdem Gebirgskämme von gewaltiger Höhe durchschneiden. Die Annahme, dass sie früher, vor dem Durchbruche, zu Seen aufgestaut waren, ist von vornherein ausgeschlossen, da sich keine lacustren Absätze nachweisen lassen. Aber selbst wenn ehemals hinter einer jetzt durchsägten Kette ein See vorhanden gewesen wäre, bliebe noch immer unerklärlich, warum sein Abfluss den hohen Kamm durchschnitt, statt die tiefste Depression in der Umrandung des Beckens, also einen jener niedrigen Sättel aufzusuchen, durch welche mehre in einer Richtung verlaufende Längenthäler von einander getrennt zu sein pflegen.

Jeder Versuch, die Entstehung der Flussschwellen zu erklären, muss an diesem Widerspruche scheitern, so lange man sich ein Faltengebirge wie den Alburs, den Himalaia, die Alpen oder Karpathen vollendet vorstellt und die Erosion erst nachträglich in Wirksamkeit treten lässt. Alle Schwierigkeiten aber werden beseitigt durch die Annahme, dass die Wasserläufe schon früher vorhanden waren und ihre Querthäler in demselben Masse vertieften, in dem sich das Gebirge erhob. Eine Bestätigung dieser Ansicht glaubt Tietze in der Wasservertheilung mancher Gebiete erblicken zu dürfen. Er weist darauf hin, dass die Hauptwasserscheiden sehr häufig an uralte continentale Massen gebunden sind und daher eine viel tiefere Bedeutung besitzen als ihnen der Topograph zuzuschreiben pflegt.

Wurde die vor einem alten Continente liegende Region über den Meeresspiegel emporgehoben und zu einem Kettengebirge zusammengefaltet, so hatten die von dem Festlandskerne auslaufenden Flüsse Gelegenheit, sich quer in jene Massen einzuschneiden, welche nach und nach einer weiteren Hebung und Faltung entgegengingen. Das Einschneiden gelang um so leichter, je günstiger sich die Verhältnisse gestalteten, unter denen die Erosion mit der Hebung wetteiferte. „In der Regel dürfte bei einem

genügend rasch strömenden Flüsse die Energie seiner sägenden Wirkung die Energie der fortgesetzten Faltung der durchsägten Massen übertroffen haben, denn wir gewinnen ja auch heutzutage leichter eine Vorstellung von den nagenden Wirkungen des Wassers als einen Massstab für die Schnelligkeit der Gebirgsbildung. Ein Fluss war daher eher in der Lage, die Wirkungen der Faltung zu überwinden, als die Faltung im Stande war, den Fluss zu stauen oder abzulenken.“

Tietze's Deduction trägt der herrschenden Ansicht von der allmählichen Erhebung der Kettengebirge Rechnung und verspricht überdies, die schwer entwirrbare Complication der beiden Factoren der Thalbildung, der Erosion und der Schichtenstörung, in befriedigender Weise zu lösen. Viele Gebirge, wie die Karpathen, der Alburs, namentlich aber der Himalaia, zeigen Verhältnisse, welche entschieden zu Gunsten der angeführten Theorie sprechen. Der Dunajec und Poprad, die Moldawa, der Czeremosz und andere Karpathenflüsse entspringen auf alten Festlandskernen und durchschneiden dann in ihrem Mittellaufe jüngere Falten-systeme von beträchtlicher Erhebung.¹⁾ Auch der Kisil-Usen sammelt, bevor er als Sefidrud den Alburs durchbricht, seine Quellflüsse in einem Gebiete, welches vornehmlich aus Granit und anderen altkrystallinischen Felsarten besteht, die dem eigentlichen Alburs fehlen. Ein altes Festland ist auch das Gebiet im N. des oberen Indus. Es war den Einwirkungen der Atmosphäre seit dem Ende der Triasperiode ausgesetzt. Erst im Laufe der Tertiärzeit wurde die vorliegende Himalaia-Region allmählich trocken gelegt, so dass nach Tietze der Indus „in das zum Theil flache, zum Theil hügelige Vorland des alten Continents einschneiden und diesen Einschnitt vertiefen konnte, während die Faltung und Aufthürmung des Himalaia bis zu seiner heutigen Höhe vor sich ging.“

¹⁾ Tietze, a. a. O. 598 u. folg.

In den bisher angeführten Fällen scheinen die Flüsse in der That älter zu sein, als die von ihnen durchschnittenen Gebirge; ihre Erosionsthätigkeit hätte daher im Sinne der oben entwickelten Theorie mit dem Fortschreiten der Faltung gleichen Schritt halten können. — Es gibt aber auch Gebirge, die weit älter sind, als ihre Querthäler, in denen also die Ausspülung der letzteren erst nach dem Abschlusse der Faltung eingeleitet wurde.

Der verwickelte Aufbau des Serbisch-Banater Erzgebirges lässt, soweit er bisher entziffert wurde, auf eine sehr alte Erhebung der drei von N. gegen S. streichenden Gneiss- und Schieferzüge schliessen.¹⁾ Nach der Ablagerung der mesozoischen Formationen müssen in diesem alten Gebirge nochmals grossartige Störungen, namentlich Brüche stattgefunden haben, durch welche die jüngeren Sedimente in einzelnen Streifen zwischen den krystallinischen Schiefeln eingeklemmt wurden. Doch diese wiederholten Dislocationen waren längst beendet, ehe die Donau die Engen zwischen Bazias und Kladowa ausnagte. Seit der Ablagerung der oberen Kreide, welche nicht wie die anderen mesozoischen Formationen zwischen den krystallinischen Schiefeln eingekeilt ist sondern diese unmittelbar überlagert, fanden keine nennenswerthen Störungen mehr statt. Das Donauthal aber war damals noch nicht vorhanden; es wurde, wie die neogenen Ablagerungen in den höheren Theilen des Gebirgs beweisen, erst nach der Tertiärzeit eingeschnitten.

Noch lehrreicher ist der Durchbruch des Rheins durch die devonische Scholle zwischen Bingen und Bonn. Da sich die steil aufgerichteten Schichten der Quarzite,

¹⁾ Vergl. Tietze, Geolog. Notizen aus dem nordöstlichen Serbien (Jahrb. der Geolog. Reichsanstalt 1870, 567 ff.); Geolog. u. paläont. Mittheil. aus dem südl. Theile des Banater Gebirgsstockes (ebend. 1872 42, 81, 82, 94—99); Peters, Die Donau und ihr Gebiet. S. 313 ff.; endlich Toulia, Die geolog.-geograph. Verhältnisse des Temesvarer Handelskammerbezirks (Mitth. der Geograph. Ges. in Wien. 1880. 275 ff.)

Grauwacken und Schiefer an beiden Thalwänden entsprechen und überdies im Flussbette selbst an mehreren Stellen in Riffen aufragen, ist sowohl die Annahme einer horizontalen Verschiebung als auch die einer klaffenden Spalte ausgeschlossen.¹⁾ Man hat es hier ebenso wie im Donauthale mit einer Erosionswirkung zu thun, zu deren Erklärung Tietze's Hypothese nicht ausreicht. Die Geschiebe, welche die hohen Gehängterrassen des Rheinthales bedecken, überlagern das Braunkohlengebirge. Die Bildung des Thales kann daher, wie schon Oeynhausens nachwies, erst am Ende der Tertiärzeit begonnen haben.²⁾ Die Transgression des Buntsandsteins auf der Höhe der Eifel aber beweist, dass die Rheinische Devonscholle bereits vor dem Beginne der Triasperiode in Falten gelegt, ja zum Theil schon wieder abgetragen war. Die Entstehung des Rheinthales kann daher nimmermehr auf den Sieg der Erosion über die gleichzeitige Gebirgsbildung zurückgeführt werden. Man wende mir nicht ein, dass noch in der Diluvialzeit tektonische Störungen eintraten, über welche die Donau und der Rhein obsiegtten.³⁾ Sowohl das Serbisch-Banater Erzgebirge als auch das Rheinische Schieferplateau stellten ja schon in der Tertiärzeit geschlossene Querwälle dar, die wohl von dem Ausflusse eines Sees keinesfalls aber von einem gewöhnlichen Wasserlaufe durchschnitten werden konnten.

Ernste Schwierigkeiten bereitet der Hypothese Powell's und Tietze's auch das Appalachische System in Nordamerika. Peschel hat in seinem bekannten Essai über Thalbildung die orologischen Verhältnisse dieses Gebirges allerdings auf ein recht leicht verständliches Schema reducirt, indem er die Flussdurchbrüche durch die Gneiss- und Schiefer-

¹⁾ Schneider, Studien über Thalbildung aus der Vordereifel S. 14, 15.

²⁾ Oeynhausens, Erläuterungen zu der geogr.-orograph. Karte der Umgebung des Laacher Sees. S. 4.

³⁾ Vergl. Tietze, Bemerkungen über die Bildung von Querthälern. 2. Folge. Jahrb. der Geol. R. A. 1882. 702 ff.

zone der Appalachian Mountains einfach als Spaltenthäler hinstellte. Doch die beliebte Methode, Probleme der Erdkunde mit Hilfe topographischer Karten zu lösen, erweist sich vielleicht nirgends so unzulänglich wie dem Processe der Thalbildung gegenüber. Peschel hält die Querthäler des Potomac, Susquehanna und Delaware deshalb für Spalten, weil diese drei Flüsse trotz ihres niedrigen Quellgebietes Ketten von ansehnlicher Höhe durchbrechen. Gerade auf diese Thatsache beruft sich aber auch Tietze¹⁾: „Wenn nach der Auffassung Dana's das Hinzufügen neuer Parallelketten an die früher bestandenen seewärts geschah, wenn also dieser Theil von Nordamerika allmählich nach O. hin gewachsen ist, dann konnten auch jene Flüsse sich in die von der gebirgbildenden Bewegung erfassten Gebiete einzuschneiden beginnen, zu einer Zeit, als diese Region eben noch nicht wie heute höher lag, als das Quellgebiet der Flüsse.“

Hierin liegt also die Schwierigkeit nicht — wohl aber in einem anderen Umstande, der auch Tietze nicht entging. Potomac, Susquehanna und Delaware entspringen jenseits der grossen Appalachischen Senke, in der Region der paläozoischen Formationen, und durchbrechen in ihrem Unterlaufe den altkrystallinen Kern des ganzen Gebirgssystems, die huronische und laurentische Zone.²⁾ Tietze sucht diesen Widerspruch durch rein theoretische Erwägungen zu bannen. Er weist darauf hin, dass es sich bei der Anwendung seiner Theorie lediglich um das Alter des durchschnittenen Gebirgs und nicht um das Alter seiner Felsarten handle. Dies wird niemand bestreiten. Doch in dem concreten Falle, mit dem wir es hier zu thun haben, stellen die Gneisse und Schiefer nicht allein die ältesten sondern auch die zuerst von der Faltung ergriffenen Gebirgsglieder dar. Unsere Kenntniss von der Architek-

¹⁾ Jahrb. der Geol. R. A. 1878. 600.

²⁾ Credner, Geognosie und Mineralreichthum des Alleghany-Systems. Petermann's Mitth. 1871, Taf. 3.

tonik der Appalachen spricht durchaus nicht für eine von der Seeseite her erfolgte Angliederung der Falten. Die ältesten Ketten sind nicht am weitesten in den Continent vorgeschoben sondern erheben sich unmittelbar über dem atlantischen Küstensaume. Roger's und Safford's Generalprofile durch das Alleghany-System lassen erkennen, dass schon das Untersilur der Appalachischen Senke die krystallinischen Schiefer der Blue Mountains ungleichförmig überlagert. Auf dem Gipfel des Snake Mount erhielt sich nach Emmons sogar eine kleine Scholle von Potsdam-Sandstein als Denudationsrest einer silurischen Transgression auf den Schichtenköpfen der steil aufgerichteten huronischen Schiefer. Die Entstehung des Potomac-Susquehanna- und Delaware-Thales ist also keineswegs erklärt. Tietze's Hypothese gemäss sollten die Blauen Berge eine uralte Wasserscheide bilden, und die westwärts abfliessenden Wasserläufe die jüngeren, paläolithischen Höhenzüge von Pennsylvania etc. durchbrechen.

Bisher war nur von Faltenssystemen die Rede. Wir kennen aber auch Kettengebirge, in denen Verwerfungen und Brüche eine nicht minder bedeutende Rolle spielen als die Faltung der Schichten. Hochstetter zeigte in seiner Abhandlung über „die geologischen Verhältnisse des östlichen Theiles der europäischen Türkei“ ²⁾, dass der Balkan auf der Südseite analog dem böhmischen Erzgebirge längs einer durch Thermen und eruptive Bildungen bezeichneten Spalte abgebrochen ist. Durch den stehen gebliebenen Nordflügel des Gebirgs bahnte sich der Isker in einer Reihe enger, schwer zugänglicher Schluchten seinen Weg. Er entspringt an den Abhängen des alten Festlands im S. von Sofia, durchfliesst das nach dieser Stadt benannte Becken und tritt endlich bei Korila in sein Querthal ein. Auf einer kurzen Strecke, zwischen Obletnja und Coronino folgt er allerdings in westöstlicher Richtung der Axe eines

¹⁾ Mitgetheilt von Credner a. a. O. Taf. 4.

²⁾ Jahrb. der Geolog. Reichsanstalt. 1870. 399.

Gewölbes, also jedenfalls einem Anarregma¹⁾; doch diese Ablenkung bildet nur eine kurze Unterbrechung des Querthales, welches nach der Untersuchung und Aufnahme Toulas ausschliesslich der Erosion zuzuschreiben ist. Oberhalb Obletnja ragen die harten Grünsteine, welche an den Thalwänden anstehen, auch in Riffen aus dem Flussbette empor, und noch deutlicher verräth sich die Uebereinstimmung der beiden Thalseiten auf der Strecke Cerova-Ronča, wo den Culmschiefern mächtige Quarzitlager eingeschaltet sind, welche nicht die geringste horizontale Verschiebung erlitten haben.²⁾

Wie lässt sich nun Tietze's Hypothese mit den tatsächlichen Verhältnissen, unter denen der Isker-Durchbruch stattfand, in Einklang bringen? Wenn die Erosion eines präexistirenden Wasserlaufes unter günstigen Bedingungen im Stande ist, mit der Faltung eines Gebirgs gleichen Schritt zu halten, so folgt daraus noch lange nicht, dass sie auch einen Bruch zu bewältigen vermag — man müsste denn annehmen, dass eine so gewaltige Verwerfung, wie sie am Innenrande des Balkan nachgewiesen wurde, ganz allmählich stattfand, dass ihre Sprunghöhe unmerklich und durch lange Zeiträume stets in gleichbleibendem Masse zunahm. Diese Voraussetzung aber ist durchaus ungerechtfertigt.

Treten wir nun auch der von uns bisher adoptirten Annahme, auf die sich Powell's Theorie stützt, etwas näher. Kann die Erosion in einem von der Gebirgsbildung ergriffenen Gebiete ebenso rasch fortschreiten wie die Faltung? Tietze vermochte das dynamische Verhältniss dieser beiden anscheinend incommensurablen Factoren an keinem concreten Falle darzulegen und griff daher zu einem Analogon. Er erinnert an den Simeto in Sicilien,

¹⁾ Toulas, Geolog. Untersuch. im westl. Theile des Balkan und in den angrenzenden Gebieten. Sitz.-Ber. der Akademie d. Wiss. Wien 1878. Märzheft, Taf. 2.

²⁾ Toulas a. a. O. 59—67.

dessen Lauf im Jahre 1603 durch Lavaströme abgedämmt wurde, und dem es seit jener Zeit gelang, einen über 20^m tiefen und 12—15^m breiten Canal in den festen Basalt einzuschneiden. Doch dieses Beispiel, welches keineswegs vereinzelt dasteht, besitzt in unserem Falle nicht die geringste Beweiskraft: Die Erosion des Simeto hielt ja mit der Erhebung des Hindernisses nicht gleichen Schritt, sondern begann erst dann an dessen Beseitigung zu arbeiten, als die Lavaergüsse den Fluss zu einem See von einer ihrer Mächtigkeit entsprechenden Tiefe angespannt hatten. Dass eine Schichtenfaltung dieselbe Wirkung hervorrufen oder zum mindesten die Erosion brechen muss, geht aus einer einfachen Erwägung hervor.

Der Zusammenschub eines Faltengebirgs wurde jedenfalls durch die Auftreibung einer Hauptfalte von ungeheurer Amplitude eingeleitet. Daubrée hat uns dieses erste Stadium der Gebirgsbildung durch lehrreiche Experimente veranschaulicht.¹⁾ Wenn eine solche unmerklich emporsteigende Falte einen alten Flusslauf durchsetzt, so wird sie ihn entweder zu einem See anspannen oder doch wenigstens durch die allmähliche Verminderung des Gefälls zur Ablagerung seiner Geschiebe und zur Erhöhung der Thalsole zwingen: Die Erosion wird also schon durch den Beginn der Gebirgsbildung unter allen Umständen lahm gelegt.

Der dem Oberlaufe des Flusses zugekehrte Schenkel der Falte bildet natürlich eine anfänglich sehr sanft ansteigende Fläche. Der Fluss kann daher seinen ursprünglichen Lauf nur solange beibehalten, als es ihm gelingt, durch die Auftragung der Geschiebe die Thalsole in derselben Masse zu erhöhen, in dem die stauende Falte emporsteigt. Während dieser ganzen Zeit ist die Wirksamkeit der Erosion auf den äusseren Abfall der Antiklinale beschränkt. Sie kann hier eine Thalfurche ausspülen, nach dem Abschlusse der Faltung sogar die ganze

¹⁾ Daubrée, Experimental-Geologie, 225.

jüngst entstandene Kette durchsägen und — immer rückwärts einschneidend — die erneuerte Aushöhlung der dahinter liegenden, aufgedämmten Thalstrecke einleiten. Doch dazu kommt es in hohen Faltensystemen nicht, weil der durch die Gebirgshildung gestaute Fluss sehr bald einen seitlichen Ausweg findet.

Im Vorhergehenden wurde der Beweis erbracht, dass die Erosion unter keinen Umständen mit der Faltung eines Gebirgs gleichen Schritt halten kann sondern durch sie geradezu aufgehoben wird. Damit aber ist Powell's Theorie widerlegt. Wir stehen nunmehr unserem Probleme wieder mit voller Unbefangenheit gegenüber.

Ohne Weiteres verständlich ist die Entstehung jener Querthäler, welche ehemaligen Seebecken als Abzugsanäle dienten. Hieher gehört z. B. der Durchbruch der Eger durch den Thonschiefer-Riegel, der den Kaiserwald mit dem Erzgebirge verbindet.¹⁾ Dieses gewundene Durchbruchsthal wurde jedenfalls durch den Abfluss des tertiären Egerer Binnensees ausgenagt. Weiter gegen O., zwischen Karlsbad und Kaden, bildet das Duppauer Basaltgebirge, welches an den Bruchrand des Erzgebirges gleichsam angeschweisst ist, einen zweiten, ungleich mächtigeren Damm, dessen Durchstich nur dem Abflusse des Falkenau-Karlsbader Beckens zugeschrieben werden kann.²⁾

Doch solche Querthäler, deren Bildung mit der Entwässerung von Seebecken zusammenfiel, gehören zu den Ausnahmen. In der Regel findet man oberhalb der Durchbrüche weder einen See noch ein mit lacustren Ablagerungen ausgefülltes Becken. Wie unter diesen normalen Verhältnissen der Durchstich eines Gebirgskammes oder eines ganzen Faltensystems vor sich ging, wurde mir im mittleren Salzach- und im Ennsthale klar.

¹⁾ Löwl, Die Verbindung des Kaiserwaldes mit dem Erzgebirge. Jahrb. der Geol. R. A. 1881. S. 453.

²⁾ Hochstetter, Karlsbad, Seine geognost. Verhältn. und seine Quellen. S. 38 ff.

Salzach und Enns folgen in ihrem Oberlaufe einer wichtigen Structurlinie der Ostalpen, verlassen jedoch — die eine bei St. Johann im Pongau, die andere bei Admont — ihre im Gebirgsbaue vorgezeichneten Längenthäler, um quer durch die vorliegende Grauwacken- und Kalkzone gegen N. durchzubrechen. Zwischen dem Salzachknie bei St. Johann und dem nur zwei Meilen entfernten Quellgebiete der Enns erheben sich die Thonschiefer des Grauwackenzuges in einer niedrigen, sanftgewellten Berggruppe, welche durch die prägnante Senke von Wagrein im S. und durch den noch tiefer eingeschnittenen, von der Bahn benutzten Uebergang Hüttau-Eben (Fritzthal) im N. begrenzt wird.¹⁾

Wie das Querthal der Salzach zwischen St. Johann und dem Passe Lueg, so besitzt auch das Fritzthal mächtige diluviale Schotterterrassen, welche namentlich oberhalb Hüttau trefflich erhalten sind und ausschliesslich die im Gebiete des Fritzaches anstehenden Felsarten — Kalk, Dolomit, Werfener Schiefer und die mannigfaltigen Thonschiefer der Grauwackenzone — enthalten. Wichtigere Aufschlüsse gewähren die geologischen Verhältnisse des Thales von Wagrein. An seinem Ausgange, bei St. Johann, durchschneidet es eisenschwarze und graue, seidenglänzende Thonschiefer, an denen hie und da Reste senkrecht abstürzender Geschiebetrassen kleben; so bei St. Johann selbst, namentlich aber in der Umgebung von Wagrein. Hier schnitt die Erosion nur schmale Schluchten in die das Thal ausfüllenden Schuttmassen. Sie sind in horizontale oder thalabwärts geneigte Bänke abgesondert und bestehen aus Thonschiefer- und Kalkgeröllen, die der nächsten Umgebung entstammen. Auf der Höhe des langgestreckten Wagreiner Sattels aber lehnt sich an die Gehänge des Niederwaldes ein kuppiger Hügelzug von tertiären Conglomeraten und Sandsteinen, denen einige

¹⁾ St. Johann im Pongau 568m, Wagreiner Sattel 952m, Enns bei Reitdorf 877m, Hüttau 708m, Eben 856m.

Braunkohlenflötze von geringer Mächtigkeit eingeschaltet sind. In den Conglomeraten findet man nicht allein die Felsarten der Umgebung vertreten, sondern auch Glimmerschiefer und verschiedene Gneissvarietäten, deren Heimat im Westen, in den Hohen Tauern zu suchen ist. Während die terrassenbildenden Geschiebelagen horizontal geschichtet sind, fallen die tertiären Sandstein- und Conglomeratbänke des Wagreiner Sattels, wie man in dem seit Jahren eingegangenen Steinbacher Kohlenbaue beobachten konnte, ziemlich steil in Süd.¹⁾

Die Verknüpfung dieser Einzelheiten führt zu dem interessanten Resultate, dass die Salzach bis zur Tertiärzeit in einem höheren als dem gegenwärtigen Niveau aus dem Pinzgau durch den Pongau und das Gebiet von Wagrein in's obere Ennsthal floss und dass die Conglomerate und Sandsteine, mit denen sie das schmale Wagreiner Becken ausfüllt, noch in die letzten Dislocationen der nordöstlichen Alpen hineingezogen wurden. Da die Geschiebetrassen zwischen Wagrein und St. Johann, die sich durch ihre ungestörte Lagerung als jüngere, unzweifelhaft diluviale Sedimente erweisen, keine fremden Gesteine enthalten, muss die nördliche Ablenkung und der Durchbruch des Flusses in den Kessel von Salzburg der Zeit nach zwischen die Bildung jener Tertiärschichten und die Ablagerung der diluvialen Schotterterrassen fallen.

Wie das obere Salzachthal so war auch die isokline Längenfurche der Enns schon in der Tertiärzeit vorhanden, denn im Becken von Gröbming findet man im Lehm und Sand ein Braunkohlenflötz, und weiter gegen O., bei Steinach, kommen Sandsteine und Mergel mit Pflanzenabdrücken der Miocänzeit vor. An beiden Orten sind die Tertiärschichten steil aufgerichtet²⁾ und daher von den jüngeren

¹⁾ Peters, Die geolog. Verhältnisse der Nordseite des Radstädter Tauern. Jahrb. der Geol. Reichsanstalt. V. 814.

²⁾ Stur, Die geolog. Beschaffenheit des Ennsthales. Jahrb. der Geolog. R. A. IV. 478, 483.

Schotterbänken unschwer zu trennen. Die Enns fliesst von Radstadt bis Selzthal genau in der zu einem schmalen Streifen zusammengeschnürten Grauwackenzone, deren leicht zerstörbare Thonschiefer die Aushöhlung des Thales begünstigten. Zwischen Selzthal und Admont durchschneidet der Fluss die Grauwackenzone und bei Admont tritt er durch die grossartigen Felsengen des „Gesäuses“ in die nördlichen Kalkalpen ein, um sie von Hiefiau aus gegen N. zu durchbrechen. Die Strecke Selzthal-Hiefiau gehört also schon dem Querthale an, obzwar die Enns hier noch immer ihre östliche Richtung beibehält. Diese auffallende Erscheinung wird bedingt durch die in dem veränderten Streichen des Gebirgs ausgedrückte südöstliche Ablenkung der Alpen im Angesichte des Südrandes der böhmischen Urgebirgsscholle.¹⁾ Das obere Ennsthal findet demnach im geologischen Sinne seine Fortsetzung in der breiten Rottenmanner Längenfurche, welche schon bei Döllach im W. von Selzthal beginnt,²⁾ dem Grauwackenzuge folgend gegen den niedrigen Sattel von Wald ansteigt und jenseits desselben als Liesingthal zur Mur hinabzieht. Bei Lassing, St. Lorenzen, Trieben und an mehreren anderen Orten sind Reste von Geschiebetrassen unbestimmbaren Alters erhalten, in denen Gesteine aus den Thälern des westlichen Theiles der niederen Tauern vorkommen.³⁾ Diese fremden Geschiebe machen es wahrscheinlich, dass die Enns früher durch den Rottenmanner Einschnitt dem Murthale zufluss.⁴⁾

¹⁾ Suess, Die Entstehung der Alpen. S. 20.

²⁾ Die schmale Schlucht zwischen dem Mitterberge und dem Dürrenschöberl, durch die der Paltenbach bei Selzthal der Enns zufliesst, ist weit jünger als das Döllacher-, Lassing- und obere Paltenthal, welche nach ihren Geschiebetrassen zu schliessen ursprünglich eine einzige Thalfurche darstellten.

³⁾ Auf der Höhe des Strechauer Kalkrückens, der aus den Schottermassen des Lassingthales aufragt, fand ich neben Kalk-, Quarz- und Schiefergeröllen auch solche von Gneiss, welche dem Gebirgskerne der hohen Wildstelle entstammen dürften.

⁴⁾ Die Beweisführung ist hier nicht so sicher wie im Salzachthale, weil die Gneissgeschiebe der Rottenmanner Senke vielleicht dem „Glacial-

Vergegenwärtigen wir uns nun den ursprünglichen Lauf des grossen Tauernflusses von Krimml über Mittersill, Wagrein, Radstadt und Rottenmann bis zur Vereinigung mit der Mur. — Die Frage nach der Entstehung des Enns- und Salzachdurchbruches lässt sich jetzt folgendermassen formuliren: Auf welche Ursachen ist die Zerstückelung des grossen, im Gebirgsbaue vorgezeichneten Längenthales der nordöstlichen Alpen und die Ablenkung der Salzach und Enns gegen N. zurückzuführen? Da sich beide Quertäler als reine Erosionswirkungen erweisen¹⁾, müssen wir annehmen, dass der vormals geschlossene Wall der Kalkalpen von aussen her durch Erosionsthäler zerschnitten wurde, welche immer tiefer in das Innere des Gebirgs eingriffen, das grosse Längenthal erreichten und seinen Fluss gegen N. abzogen.

In Regionen, wo die Atmosphärien und das Wasser energisch an der Ausbildung des Reliefs arbeiten, also vor allem im Hochgebirge, ist die Ablenkung der Flussläufe keine ungewöhnliche Erscheinung. Sie ergibt sich vielmehr mit Nothwendigkeit aus dem Wachstume der unentwickelten Trichterthälchen, deren hartnäckige Kämpfe um die Wasserscheide wir schon an einigen Orten, wie im Kapruner Thale, im Val Piora u. s. w. verfolgten. Zahlreiche analoge Fälle beschreibt Bodmer in seiner Monographie „Terrassen und Thalstufen der Schweiz.“ Es gelang ihm z. B., die durch hohe Lateralterrassen bezeichneten älteren Thalböden der Aar über den Brünig-Pass in das Sarner Thal zu verfolgen und so den Nachweis zu führen, dass die Aar früher diesen Weg einschlug und erst dann gegen W. abgelenkt wurde, als sie ihr Thal bis auf das Niveau von 1000^m vertieft hatte.²⁾

schotter“ angehören, der nach den Untersuchungen Penck's nur dürftige Anhaltspunkte für eine Reconstruction älterer Thalrinnen bietet. Vergl. Penck, die Vergletscherung der deutschen Alpen. S. 165.

¹⁾ Am besten zu beobachten bei Werfen u. Admont, wo der Werfener Schiefer von Triaskalken überlagert wird.

²⁾ Bodmer, a. a. O. 19, 20.

Noch lehrreicher ist die Entwicklungsgeschichte der Dranse. Als dieser Fluss sich bis auf 1600–1450^m eingesägt hatte, wurde das Val d'Entremont, welches mit dem Val Ferret früher im Thale von Champey seine Fortsetzung fand, durch einen Zweig der Dranse de Bagne angeschnitten und nordwärts abgelenkt. Die Ursache dieses Vorganges ist im Gebirgsbaue zu suchen. „Während die Sohle bei Champey in Protogin und Porphyrliegt; fand der ablenkende Bach zwischen Sembrancher und Orsières nur unteren Jura und graue Schiefer, konnte sich also rasch rückwärts verlängern; bei umgekehrter Vertheilung des Gesteins wäre die Ablenkung nie erfolgt.“ Zu derselben Zeit wurde auch der Trient, welcher vormals über den Col de Forclaz der Dranse zuffloss, durch einen Seitenbach der Eau noire gegen Finhaut abgezogen und unmittelbar der Rhone zugeführt. In diesem Falle liegt die Ursache allerdings nicht in den lithologischen, wohl aber in den Lagerungsverhältnissen des Gebirgs. „Vom Col de Forclaz an floss der Trient im Streichen des Gneiss, der ablenkende Bach hingegen lief quer durch dessen Schieferung, und in dieser Richtung ist die Erosion bekanntlich grösser als in der ersten.“¹⁾

Wie diese concreten Fälle zeigen, sind die Flusssysteme eines Gebirgs unablässig bemüht, ihr Quellgebiet auf Kosten der Nachbarn zu erweitern. Den Ausgang dieses Kampfes Aller gegen Alle entscheidet in erster Reihe das Gefäll. Wurde durch den Zusammenschub paralleler Falten ein Kettengebirge emporgethürmt, so folgte die Erosion zunächst den im Gebirgsbaue gegebenen Längenfurchen, begann aber zu gleicher Zeit auch in die Abhänge der Falten ihre gewöhnlichen Rinnen einzuschneiden. Die Bedingungen, unter denen sie hier und dort wirkte, waren vom Anfange an grundverschieden, denn im Streichen ist das Gefäll naturgemäss geringer als in der Richtung

¹⁾Bodmer a. a. O. 21.

des Schichtenfalles. Die Aushöhlung der Querthäler musste daher weit rascher vor sich gehen als die der grossen Längenthäler und schliesslich sogar die Unterbrechung und Ablenkung der letzteren herbeiführen. In Faltensystemen von hohem Alter wurde die ursprüngliche Anordnung der longitudinalen Rinnen, die in der Regel mit wichtigen architektonischen Linien zusammenfallen, durch das Ueberhandnehmen der transversalen Erosionsfurchen oft bis zur Unkenntlichkeit verwischt. Die unmittelbare Folge davon ist, dass auch die Abhängigkeit des Reliefs von der Structur allmählich gelockert und endlich ganz aufgehoben wird: In geschlossenen Längenthälern verräth sich die Jugend eines Gebirgs; die Querthäler sind die Züge des Alters.

Das schönste Model eines durch jüngere Querschluichten zerschnittenen tektonischen Längenthales stellt die knapp an Fiume vorbeistreichende Störungslinie Novi—Buccari—Clana dar. Sie wurde schon vor Jahren von Stache untersucht und als „Gebirgsspalte von Buccari“ eingehend beschrieben¹⁾. Nach der nicht gerade glücklich gewählten Bezeichnung „Gebirgsspalte“ sollte man eine Verwerfung oder Ueberschiebung erwarten; doch die Thallinie Clana—Novi steht nicht mit Spalten und Brüchen in Verbindung, sondern erweist sich einfach als die südöstliche, stark verengte Fortsetzung der Recca-Mulde, als eine zusammengepresste, stellenweise gegen SW. überschobene, mit eocänen Ablagerungen erfüllte Synklinale von sehr beträchtlicher Längenerstreckung. Sie beginnt am südlichen Abhange des Dletvo-Rückens, der noch aus den eocänen Sandsteinen des Muldenkerns besteht, und zerfällt von hier bis Novi in eine Reihe kleiner, durch niedrige Querriegel getrennter Längenthäler. Im NW. liegt zunächst zwischen dem Dletvo-Berge und den Quellen der Reczina das sackförmig

¹⁾ Stache, Die Eocängebiete in Innerkrain und Istrien. (Jahrb. der Geolog. Reichsanstalt 1864, S. 11—31.)

geschlossene Thalgebiet von Clana. Hierauf folgt gegen SO. die tiefe Furche der Reczina, das Längenthälchen von Draga, das Vallone di Buccari zwischen dem Querriegel von S. Cosmo und dem von Dool, das ziemlich breite Vinodol, welches bis zu dem Sattel im N. von Szelce reicht, und endlich das Thal von Novi. Diese sechs Sondergebiete sind aber nur auf Grund orographischer Kriterien zu trennen; in geologischem Sinne gehören sie, wie bereits erwähnt wurde, insgesamt einer einzigen, langgestreckten Synklinale an, die sich in ihrer südöstlichen Streichungsrichtung allmählich zum Meeresniveau hinabsenkt¹⁾. Die Auflösung dieser Muldenfalte in mehr selbständige Thalgebiete wurde durch Erosionsschluchten bewirkt, welche von der Küste aus landeinwärts zurückgriffen. Es gelang ihnen, das Gewölbe des Kreidekalks zwischen der Eocän-Mulde und dem Meere von aussen her zu durchsägen, das synkline Längenthal seitlich anzuschneiden und seinen Wasserlauf gegen W. zum Meere hin abzulenken. So haben wir uns das kurze Querthal von Novi, den Durchbruch des Riscina-Baches aus dem Vinodol zur Küste und endlich den der Reczina zwischen Orechowitza und Fiume entstanden zu denken²⁾. Wo die energisch erodirenden Küstenflüsschen das alte Längenthal erreichten, musste die Sohle desselben rasch vertieft werden; so dass südöstlich vom Beginn jedes Durchbruchs, und zwar in unmittelbarer Nähe, ein Querriegel geschaffen wurde.

¹⁾ In neuerer Zeit suchte Hörnes in seinen „Erdbebenstudien“ (Jahrb. der Geol. Reichsanstalt 1878, S. 431 ff.) die Störungslinie von Buccari als eine Verwerfungsspalte zu deuten und den grossen peripherischen Bruchlinien der Südalpen gleichzustellen, bei denen nicht selten nebst dem Absitzen des südlichen Flügels auch noch eine Schleppung der Schichten des stehen gebliebenen Nordrandes nachgewiesen werden kann. Doch die von Stache mitgetheilten Profile, namentlich die Durchschnitte Nr. 1 durch den Dletvo, 5 durch das Reczinathal und 7 durch das Vinodol stellen den synklinen Charakter jener tektonischen Furche ausser Zweifel.

²⁾ Die Seitenporten des Dragathales bei Martinschiza und des Vallone di Buccari bei Porto Ré dürften eher durch kesselförmige Einbrüche hervorgerufen worden sein. Stache, a. a. O.

Ein Beispiel mag das Gesagte erläutern. Die Reczina floss früher über Orechovitza und Draga in den Hafen von Buccari. Von Fiume aus wurde jedoch eine Schlucht erodirt, welche bis Orechovitza zurückgriff, die Reczina mitten entzwei schnitt und ihren Oberlauf direct zum Meere ablenkte. Der frühere Unterlauf der Reczina wurde dadurch selbständig und erhielt ein Quellgebiet im SO. von Orechovitza. Zwischen diesem Quellgebiete und dem immer tiefer einschneidenden Durchbruche der oberen Reczina musste demnach im Niveau des früheren Thalbodens ein Querriegel zurückbleiben. Auch im Vinodol und im Thälchen von Novi erhebt sich der südöstliche Längensattel gleich neben dem Beginne des Durchbruches, so dass den beiden Bächen an ihrem rechtwinkligen Knie von SO. her nur kurze Gräben entgegenziehen. Es braucht kaum hervorgehoben zu werden, dass diese topographische Beziehung zwischen den Längensätteln und den Querthälern mit unserer Lösung des Problems der Flussthroughbrüche vollkommen im Einklange steht.

Ebenso wie die Thälchen der unteren Riscina und Reczina oder die Engen der Salzach und Enns in den Kalkalpen lassen sich auch viele andere Durchbrüche, z. B. die Querthäler der Appalachian Mountains, das Iskerdefilé im Balkan oder der Durchstich des Rheinischen Schiefergebirges zwischen Bingen und Bonn, einzig und allein auf eine laterale Erosion zurückführen. Die naheliegende Annahme, dass die Rheinschlucht durch einen Abfluss des Mainzer Tertiärbeckens ausgegast wurde, scheitert in erster Reihe an den Höhenverhältnissen der Umgebung dieses Beckens. Ueberdies beweisen die aus den Mainzer Tertiärschichten stammenden abgeriebenen Fragmente fossiler Muscheln, die man nur in den jüngeren Ablagerungen des Rheins bei Bonn und nicht auf den alten Geschiebetrassen aufgefunden hat¹⁾, dass die Ver-

¹⁾ Vergl. Dechen, Geognost. Führer in das Siebengebirge, S. 385 ff.

bindung zwischen dem Mainzer Becken und dem Mittelrheine sehr spät hergestellt wurde.

Uebersaus einfach und gesetzmässig sind die orologischen Grundzüge des norddeutschen Tieflandes; und doch war man bisher nicht im Stande, die Durchbrüche der Oder und Weichsel durch den baltischen Landrücken zu erklären. Ja wir erhalten nicht einmal auf die Frage nach der Entstehung dieses Landrückens selbst eine zufriedenstellende Antwort. Girard nahm Hebungen an; Berendt glaubt nach dem Vorgange Beyrich's, dass durch das Einsinken des Ostseebeckens die losen, noch formbaren Ablagerungen Nord-Deutschlands wulstförmig aufgetrieben wurden, beruft sich aber überdies noch auf das Gletscherphänomen¹⁾: der ungeheure Druck der nordischen Eismassen auf ihre Unterlage soll den unmittelbar vor dem Gletscherrande liegenden, von dem Eise bereits verlassenem Boden zu einer welligen Erhebung emporgepresst haben. Diese Hypothese stellt jedoch nicht allein ziemlich weitgehende Anforderungen an unsere Einbildungskraft sondern ist auch mit der genau beobachteten Anordnung der alten Frontalmoränen nicht in Einklang zu bringen. Wären die norddeutschen Höhenzüge wirklich längs des jeweiligen Gletscherrandes aufgetrieben worden, dann müssten sich die Stirnmoränen, welche ja den Rand der zurückweichenden Eisströme bezeichnen, durchweg am Nordfusse der einzelnen Terräinwellen vorfinden. Diess ist aber nicht der Fall. Die Moränen wurden vielmehr, wie Berendt selbst hervorhebt, beinahe ohne Ausnahme auf den höchsten Erhebungen der Seenplatten abgelagert.²⁾ Einer dieser erratischen Geschiebestreifen, welcher bei Liepe aufgeschlossen ist, schmiegt sich sogar dem Südrande des Höhenzuges an.³⁾

¹⁾ Berendt, Gletschertheorie oder Drifttheorie in Nord-Deutschland? (Zeitschrift der Deutschen Geolog. Gesellsch. 1879, S. 15, 16).

²⁾ a. a. O., S. 19.

³⁾ Helland, Ueber die glacialen Bildungen der nordeuropäischen Ebene. (Zeitschrift der Deutschen Geolog. Gesellsch. 1879, S. 105.)

Zieht man alle Verhältnisse, darunter auch das Hervortreten älterer Gebirgsglieder, namentlich der Kreideformation, unbefangen in Betracht, so ist man noch am ehesten geneigt, die Entstehung des baltischen Landrückens mit sanften Schichtenfaltungen in Verbindung zu bringen. Jedenfalls aber steht fest, dass die norddeutschen Höhenzüge, mögen sie nun durch dieses oder jenes Agens aufgewölbt worden sein, eine westliche Ablenkung der von den Südeten und Karpathen herabziehenden Flussläufe bewirkten.

Die umfangreiche Literatur über diese Erscheinung ist bekannt. In neuerer Zeit hat namentlich Berendt durch sorgfältige Untersuchungen nachgewiesen, dass das Thal der unteren Elbe vormals von der vereinigten Oder und Weichsel durchflossen wurde. Die Weichsel strömte einst über Bromberg nach Nakel und folgte von hier bis zum Warthebruche dem weiten Thale, welches gegenwärtig von der Netze durchzogen wird. Im N. des Oderbruches, bei Liepe, erreichte sie eine alte Stirnmoräne und wurde durch diese zur Fortsetzung ihres westwärts gerichteten Laufes gezwungen.¹⁾ Sie benutzte die Senke des Finow-Canals, des Ruppiner Canals, der Havel und der unteren Elbe. Das Thal der Oder zwischen dem Oderbruche und Stettin war damals noch nicht ausgefurcht.²⁾ Der Weichseldurchbruch von Fordon bis Danzig soll sogar erst in historischer Zeit eröffnet worden sein. Nach Berghaus berichten alte polnische Chroniken, dass östlich von Bromberg einst ein grosser Binnensee lag, welcher nicht zur Danziger Bucht sondern gegen W. in die Netzeniederung abfloss.³⁾ Die Lücke zwischen Fordon und Ostrometzko war also damals noch geschlossen. Durch welche Vorgänge sie geöffnet wurde, wie die Querthäler der Weichsel und Oder entstanden —

¹⁾ Helland, a. a. O. 105, 106. — Berendt, die Umgegend von Berlin. I. S. 1—5.

²⁾ Helland, a. a. O.

³⁾ Berghaus, Die frühere Oberflächengestaltung der Mark Brandenburg. Gaea 1877. S. 289.

über diese Frage ging man bisher mit vagen Andeutungen hinweg. Girard spricht nur die Vermuthung aus, dass bedeutende Hochwässer die Weichsel und Oder neue, kürzere Wege zum Meere finden liessen.¹⁾ Andere dagegen nehmen an, dass diese Flussdurchbrüche der ablenkenden Einwirkung der Erdrotation zuzuschreiben seien.²⁾ Doch beide Hypothesen scheitern an dem breiten, ehemals geschlossenen Walle, der sich zwischen dem Tieflande und den Küsten der Ostsee erhebt. Auch Berendt's Versuch, das untere Weichsel- und Oderthal als ursprünglich von N. gegen S. verlaufende Rinnsale von Gletscherbächen zu deuten³⁾, muss als verfehlt bezeichnet werden. Selbst wenn Berendt's früher erwähnter Hypothese gemäss der baltische Landrücken unter dem mächtigen Drucke der im N. vorliegenden Gletschermassen aufgequollen wäre, bliebe noch immer unerfindlich, wie die Gletscherbäche einen solchen, knapp vor dem Eisrande aufsteigenden Wall hätten quer durchbrechen können. Eine genaue Untersuchung der beiden Durchbruchsthäler wird wohl ergeben, dass der einst zusammenhängende Wall der Seenplatten von aussen her durch Erosionsfurchen zerschnitten wurde, welche schliesslich bei Bromberg und Oderberg die Sohle des alten Weichselthales erreichten. Diese Annahme erklärt zugleich die Einmündung der Weichsel und Oder in die tief einspringenden Buchten der Ostsee. Von Stettin und von der Montauer Spitze aus konnte die Erosion den baltischen Landrücken eben in ungleich kürzerer Zeit durchsägen als etwa in den Thälern der Stolpe, Persante, Ucker, Tollense und anderer Flüssen, deren Lauf durch convexe Krümmungen der Küste verlängert wird.

¹⁾ Girard, Die norddeutsche Ebene. S. 15.

²⁾ Vergl. Dulk in der Ztschr. der Deutschen Geolog. Ges. 1879. S. 224.

³⁾ a. a. O. 13, 14, 17.

Klima und Thalbildung.

In keinem Gebiete erscheint der Versuch, die Entstehung der Flussschneisen auf eine laterale Erosion zurückzuführen, so gerechtfertigt wie in den Lössregionen des nordwestlichen China, deren tektonische Grundzüge uns durch einen der hervorragendsten Geologen in einem so lichtvollen Bilde zur Anschauung gebracht wurden. Richthofen fand, dass in Shansi „mächtige Gebirgsbarrieren von kleinen, anscheinend ganz indifferenten Bächen durchbrochen werden, welche unmittelbar hinter ihnen in einem Lössbecken entspringen und nach anderen Seiten einen scheinbar viel leichteren Ausweg gehabt hätten.“ Manche Lössmulden sind sogar rings von Gebirgen umschlossen, deren Wall nur an einer Stelle eine Lücke aufweist. Dem Relief nach sollte man also erwarten, dass die von den Abhängen der Beckenränder herabfliessenden Gewässer jenes Ausgangsthor als Abflusscanal benutzten. Dies ist aber nur ausnahmsweise der Fall. Die meisten Lössbecken sind von divergirenden Schluchtensystemen durchfurcht, so dass die Wasserscheide nicht etwa der Umrandung des Beckens folgt sondern im Centrum desselben liegt. Der Abfluss jedes einzelnen Schluchtensystems durchbricht die Gebirgsumwallung in einem eigenen Querthale.

Richthofen führt zwei prägnante Fälle an.¹⁾ Ich kann mir nicht versagen, die Beschreibung derselben wörtlich wiederzugeben; sie führt geraden Weges zu der oben versuchten Deutung der Querthäler als Wirkungen einer von aussen her einschneidenden Erosion.

Wenn man von Ta-tung-fu im nördlichen Shansi die Strasse nach der Mongolei einschlägt so befindet man sich bei dem Thore Tshing-tshwan-kóu der grossen Mauer auf dem Boden einer nach N. in weiten Verzweigungen ansteigenden Lössmulde, welche östlich von einem mächtigen Gneiss-

¹⁾ China. I. 118—122.

gebirge begrenzt wird. Die Lössterrassen steigen hoch an dessen Gehängen an, und man sollte erwarten, dass alle Gewässer von diesen dem nach S. gerichteten Thalbach zuströmen würden. Statt dessen bildet an einer Stelle die höchste Anschwellung des Löss einen gegen das Gebirge geöffneten Halbkreis, und in diesem vereinigen sich die Schluchten gegen einen kleinen Bach hin, welcher die Masse des Gneissgebirgs in einer engen Kluft durchbricht. Das zweite Beispiel, das einer noch merkwürdigeren Art der Wasservertheilung angehört, entnehme ich dem südlichen Theile der Provinz Shansi. Dort erhebt sich westlich von Tse-tschou-fu ein von SW. nach NO. streichendes Kalkgebirge. Jenseits desselben liegt eine ihm parallele, 12 geographische Meilen lange und zwei Meilen breite, mit Löss erfüllte, flache Thalmulde, rings von Bergen umgeben. Auch hier sollte man erwarten, dass die Gewässer sich auf deren Boden sammeln würden, um vereinigt eines der umgebenden Gebirge zu durchbrechen. Allein in dem Thale selbst ist die Wasserscheide zwischen dem Tsin-ho, einem Nebenflusse des Hwang-ho, und dem Weiho, welcher nach Tientsin fließt. Die Lössschluchten aber sammeln sich zu fünf verschiedenen Bächen, deren vier das Kalkgebirge an ebenso vielen Stellen durchbrechen, während der fünfte nach SW. gegen Yang-tshöng-hsien abfließt, so dass auf dem Boden dieser einen kleinen Lössmulde vier Wasserscheiden dicht neben einander liegen. Jeder der Durchbrüche ist eine enge Felskluft, und dies ist ihr Charakter überall, wo ich ähnliche Erscheinungen beobachtet habe.“

In diesen schluchtartigen Durchbruchsthälern erblickt Richthofen „Querzerspaltungen“ der Beckenumrandung. Während die Lössmulden allmählich durch äolische Sedimente ausgefüllt wurden, soll das Fortschreiten der Gebirgsbildung in der Umwallung dieser Mulden transversale Dislocationsspalten aufgerissen haben. Sobald aber eine solche Kluft bis zu den tiefsten, mit Wasser vollgesogenen

Ablagerungen der Lössmulde hinabdrang, musste sie dieses unterirdische Bassin sofort anzapfen. Die Folge davon war, dass die ursprüngliche Spalte durch die Erosion des Muldenabflusses allmählich in eine gewöhnliche Thalschlucht verwandelt wurde.

Doch Richthofen hat den klastischen Charakter dieser Querthäler nur aus den orographischen Verhältnissen gefolgert, keineswegs aber geologisch sichergestellt. Er konnte weder Verwerfungen noch horizontale Verschiebungen nachweisen. Es unterliegt daher keiner Schwierigkeit, die soeben erörterte Hypothese zu widerlegen. Tietze hat dies in einer erschöpfenden Kritik gethan.¹⁾ Leider entging ihm hiebei das Motiv, welches Richthofen zu der ihm sonst durchaus nicht zusagenden Spaltentheorie bewog — ich meine die auffallende Erscheinung, dass die Wasserscheide im Becken selbst liegt, und jeder einzelne der divergirenden Wasserläufe das Randgebirge in einer eigenen Schlucht durchbricht. Mit dieser Thatsache ist Powell's Theorie schlechterdings unvereinbar, während die Spalten-theorie wenigstens a priori zulässig ist.

Weshalb man aber hier und in anderen Gebieten die Entstehung der Flussdurchbrüche nicht schon längst durch das allenthalben beobachtete Zurückgreifen der Erosion erklärte, befremdet schon aus dem Grunde, weil in der Regel auch die meteorologischen Verhältnisse zu dieser nahe liegenden Annahme drängen.²⁾

Der Südabhang des Grenzgebirges zwischen China und der Mongolei entzieht dem Sommermonsune einen grossen Theil seiner Feuchtigkeit und ist deshalb im

¹⁾ a. a. O. 586.

²⁾ Krümmel machte in einem Aufsätze über „Einseitige Erosion“ (Ausland, 1882, 2. u. 3. Heft) auf die Abhängigkeit des allgemeinen Erosionsreliefs von der Vertheilung der Niederschläge aufmerksam und wäre so auf dem besten Wege gewesen, die Bildung der Querthäler zu erklären, wenn er sich nicht gescheut hätte, mit Powell-Tietze's Theorie zu brechen.

Gegensätze zu der „im Windschatten“ liegenden Nordabdachung der Schauplatz der atmosphärischen Niederschläge und der durch sie bedingten Wirkungen der Erosion.¹⁾ Er wurde im Anfange von gewöhnlichen, im Hintergrunde geschlossenen Querthälern durchfurcht; diese schnitten jedoch immer tiefer in das Gebirge ein, durchsägten die einzelnen Kämme und begannen dann die dahinter liegenden Lössmulden in ihr Drainirungsgebiet einzubeziehen.

Im grossartigsten Massstabe vollzog sich dieser Process im Himalaia.²⁾ Auch hier hatte der Gegensatz in der Regenvertheilung eine durchaus einseitige Erosion zur Folge. Mehreren Flüssen der Südabdachung gelang die retrograde Verlängerung ihrer Querthäler durch das ganze Faltensystem hindurch bis in das Becken von Tibet. Sie arbeiten gegenwärtig in ihrem Quellgebiete an der Verbindung der einzelnen isolirten Mulden und an der Ausbildung regelmässiger Flusssysteme. Dass der unerforschte Durchbruch des Bramaputra nur durch die Erosion zu Stande gebracht wurde, ist allerdings nichts weniger als wahrscheinlich; das Zusammentreffen des ostindischen und des Himalaia-Streichens lässt ohne Frage auf grossartige Störungen im Gebirgsbaue jener Region schliessen. Dagegen dürften die Querthäler des Indus und Satladsch durch Ausspülung allein entstanden sein, denn die bisher untersuchten Flussdurchbrüche der südlichen Himalaiaketten haben sich ohne Ausnahme als Erosionsschluchten erwiesen.³⁾ Es verdient hier besonders hervorgehoben zu werden, dass die einzelnen Wasserläufe wie der Indus, Dschinam, Dschinab, Rawi, Bias, Satladsch, Ganges,

¹⁾ Vergl. Wojeikof, Die atmosphärische Circulation. Petermann's Mitthlg. Erg.-Heft Nr. 38. S. 6, 7 u. Taf. 3.

²⁾ Vergl. oben.

³⁾ Blanford-Medlicott, Man. of the geology of India. p. 675. Medlicott erklärt hier die Entstehung des Dschinabdurchbruches bei Riassi ganz im Sinne Powell's. Die von ihm vorgebrachten Argumente sprechen aber nur zu Gunsten unserer Auffassung.

Karnali, Arun u. s. w. eine verschiedene Anzahl von Ketten durchbrechen. Die meisten liegen in der Randzone oder führen bis zur grossen Aufbruchswelle des Centralgneiss empor; andere greifen auch noch durch diese Axe des Gebirgs hindurch; der Indus und Satladsch endlich haben ihr Quellgebiet sogar bis nach Tibet zurückgeschoben, und der Karnali, ein Nebenfluss des Gagra, ist nahe daran, ihrem Beispiele zu folgen. Dieses verschieden tiefe Eingreifen der Querthäler bereitet sowohl der Spalten-theorie als auch der Hypothese Powell's die grössten Schwierigkeiten, stimmt dagegen mit unserer Erklärung völlig überein.

Ebenso unverkennbar wie im Himalaia gelangt die Abhängigkeit des Erosionsreliefs von den klimatischen Factoren auch in der Gebirgsumwallung des Steppen- und Wüstengebietes von Iran zum Ausdrucke. Im Alburs ziehen alle bedeutenden Querthäler gegen N. zu dem heissen und feuchten Küstensaume des Kaspischen Meeres hinab. Von besonderem Interesse ist der grossartige Durchbruch des Sefdrud quer durch das ganze Falten-system. Vor dem Eintritte in das Gebirge folgt der Fluss unter dem Namen Kisil Usen einer zwischen Parallelketten eingesenkten Furche, in der ihm von O. her der Schahrud entgegenströmt. Dieses ausgezeichnete Längenthal ist von relativ hohem Alter, denn die miocäne Persische Salzformation, welche am Südrande des Alburs auftritt, wurde von Tietze auch längs des Kisil Usen und Schahrud aufgefunden.¹⁾ Vielleicht bildeten diese beiden Gegenflüsse vor Zeiten einen einzigen, in westlicher Richtung ablaufenden Strom, als dessen Oberlauf der gegenwärtige Schahrud anzusehen wäre. Ein vom Kaspischen Meere aus in das Gebirge einschneidender Küstenfluss, der Sefdrud, erreichte endlich bei Mendschil den Schahrud, lenkte ihn gegen N. ab und belebte durch sein rasches Einsägen auch die Erosion des alten Langenthales, in welchem sich seither

¹⁾ Tietze, a. a. O. 604.

zwei gegen Mendschil convergirende Wasserläufe ausbildeten. — Doch diese flüchtigen Andeutungen sind werthlos so lange es nicht gelingt, in dem alten Längenthale Gehängterrassen oder Geschiebeablagerungen nachzuweisen, welche einen höheren, von O. gegen W. geneigten Thalboden verrathen.

Die Erscheinung, dass ein Fluss seinen Weg in mehrmaliger Abwechselung durch Quer- und Längenthäler sucht, tritt vielleicht nirgends so prägnant hervor, wie in dem hydrographischen Netze des Südwestrandes von Iran. Hier erhebt sich zwischen Mesopotamien und dem Persischen Golfe auf der einen und den centralen Steppenlandschaften auf der andern Seite ein mächtiges System paralleler Ketten, zwischen denen ursprünglich langgestreckte tektonische Thalfurchen im Streichen des Gebirgs verliefen. Erst durch die laterale Erosion wurde diese schematische Regelmässigkeit verwischt oder doch gestört. Die Wetterseite des Kurdisch-Persischen Gebirgs ist gegen S. W. gekehrt. Längs der äusseren Ketten fanden daher stets die ausgiebigsten Niederschläge statt. Doch der Wasserdampf der regenbringenden Monsune wurde nicht ausschliesslich in dieser Zone condensirt sondern zum Theile auch noch den dahinter liegenden hohen Kämmen zugeführt, so dass die Erosion an der Westabdachung sämtlicher Parallelketten zu gleicher Zeit, wenn auch mit verschiedener, landeinwärts abnehmender Energie von Statten ging. So waren alle Bedingungen zur Bildung von Querthälern, zur Ablenkung der ursprünglichen Wasserläufe und zur Entwicklung complicirter Flusssysteme gegeben.

Auch die Querthäler der Süd- namentlich aber der Nordumrandung Kleinasiens dürften von der wohlbewässerten Küste aus erodirt worden sein und immer tiefer landeinwärts zurückgegriffen haben, bis sie endlich die centrale Steppenregion erreichten und drainirten. Auf analoge Weise liesse sich die Oberflächengestaltung zahlreicher anderer Gebiete erklären — doch ich habe kein Recht weiter zu

gehen, bin vielleicht schon zu weit gegangen. Es ist ja noch nicht sichergestellt, ob die zuletzt besprochenen Durchbruchsthäler, wie das des Kisil Irmak und Jeschil Irmak in den Pontischen Küstenketten oder das des Gamas, Sefidrud, Prestaf, Abischur u. s. w. im Kurdisch-Persischen Falten-systeme, in der That reine Erosionswirkungen sind oder durch den Process der Gebirgsbildung aufgerissen wurden.

Wie in der Ausbildung ganzer Thalsysteme so offenbart sich der Einfluss bestimmter meteorologischer Verhältnisse auch in der Gestaltung der einzelnen Thäler selbst. Alle Bergregionen, die reichlich mit Niederschlägen bedacht sind, wie unsere Alpen oder die Regenfronten einseitig bewässerter Gebirge, besitzen normale Thalfurchen mit abgeschrägten Gehängen. Die sägenden und einschneidenden Wirkungen der Wasserläufe gehen hier eben Hand in Hand mit der durch die Zufuhr von Feuchtigkeit ermöglichten Zerstörung der Thalwände. Das Zusammenwirken dieser beiden Factoren ergibt, wie früher gezeigt wurde, mehr oder weniger steile Böschungen, Dammstufen, Stufen im anstehenden Gesteine, Terrassen — überhaupt jene Scenerie, welche wir in den Thälern der Alpen kennen lernten und in allen wohlbewässerten Regionen wiederfinden.

Gerade entgegengesetzt ist die Entwicklung solcher Gebiete, in denen alle Erosionsbedingungen fehlen. Hier kommt es, wie Richthofen in Centralasien nachgewiesen hat, unter dem ungeschmälerten Einflusse des Windes zur Bildung abflussloser Steppenlandschaften.

Eine Mittelstellung zwischen diesen beiden morphologischen Extremen nehmen jene Regionen ein, die den zerstörenden Wirkungen des Spaltenfrostes, der Feuchtigkeit und der Vegetation entzogen sind und nur vom rinnenden Wasser bearbeitet werden. Die Bodenplastik des Coloradogebietes in Nordamerika lehrt, dass die Thalbildung unter solchen einseitigen Erosionsbedingungen auf ganz ungewöhnlichem Wege vor sich geht.

Das Coloradoplateau erhielt in den letzten Jahren durch die denkwürdigen Forschungen Powell's, Gilbert's, Dutton's und Anderer den Rang einer classischen Stätte.¹⁾ Einfach und grossartig wie sein Relief ist auch seine geologische Geschichte. Die Grundfesten der ungeheueren Felstafel bilden krystallinische Schiefer der archaischen Formation, welche von silurischen und devonischen Sedimenten überlagert werden. Dieser ganze Complex wurde nach dem Abschlusse der Devonperiode in Falten gelegt und in der Carbonzeit von dem wieder hereinbrechenden Meere in ein ausgedehntes Abrasionsplateau verwandelt. Auf den Schichtenköpfen des dislocirten Grundgebirgs lastet in ungestörter Lagerung die Carbonformation in einer Mächtigkeit von ungefähr 1500^m. Ihre obersten Schichten bilden die Plattform, in welche der Coloradostrom seinen gewaltigen Cañon einsägte. Doch die mächtigen Schollen postcarbonischer und mesozoischer Sedimente, die sich in einiger Entfernung vom Grand Cañon erhalten haben, beweisen, dass die Ablagerung mariner Schichten seit der Carbonperiode keine dauernde Unterbrechung erlitt.²⁾ Erst mit dem Anbruche der Eocänzeit machte das Meer weiten Süsswasserbecken Platz, auf deren Grunde eine Schichtenreihe von 300—1000^m Mächtigkeit abgesetzt wurde. Die Ausfüllung dieser Tertiärseen leitete die Drainage des Coloradosystems ein. Alle jene schauerlichen Schluchten, welche das Tafelland durchschneiden, bezeugen nur die gewaltige Arbeitskraft der vom Felsengebirge herab-rinnenden Wasserläufe. Das Plateau wird allerdings in seiner ganzen Ausdehnung von zahlreichen monoklinen Falten und normalen Verwerfungen durchsetzt, die sich selbst im Relief durch meilenweit fortlaufende Terrassenabstürze verrathen; doch diese Störungslinien streichen

¹⁾ Vergl. Powell, Exploration of the Colorado River of the West and its tributaries. Washington. 1875. Dutton, The tertiary history of the Grand Cañon District. U. St. Geol. Surv. Washington. 1882.

²⁾ Dutton, 206—215.

insgesamt von N. gegen S. quer durch die Richtung der grossen Cañonthäler.¹⁾ Nur einige der kleineren Schluchten fallen auf kurze Strecken hin mit Bruchlinien zusammen. Die grossen Cañons sind vom Gebirgsbaue durchaus unabhängig. Ihren rein erosiven Charakter hat schon Newbury, der erste Erforscher des Coloradogebietes, sicher gestellt. Er sagt: „Die Frage nach der Entstehung der grossen Cañons beschäftigte mich unablässig. Ich untersuchte mit grösster Sorgfalt ihre Architektonik und fand allenthalben nur Beweise für die Wirksamkeit der Erosion. Die gegenüberliegenden Wände der tiefsten Schlünde lassen keine Dislocation sondern eine vollkommen übereinstimmende Lagerung erkennen. Auch die Thalsohle, die so oft trocken liegt, ist wohl tief erodirt, erweist sich aber stets als ein Theil des zusammenhängenden Untergrundes.“²⁾

Powell und Dutton, welche Cañons in einer Gesamt-erstreckung von vielen Tausend Kilometern untersuchten, fanden Newbury's Beobachtungen durchweg bestätigt. Auch sie konnten den Zusammenhang der Schichten in der Tiefe vieler Schluchten unmittelbar nachweisen; und dort, wo der Fluss den ganzen Thalgrund einnimmt, trafen sie wenigstens auf beiden Seiten dieselben Straten in gleicher Höhe an. Schreibt man die Entstehung der Cañons dem Mechanismus der Spaltenbildung zu, so muss man sich nothgedrungen zu der absurden Voraussetzung bequemen, dass sämtliche Klüfte ohne jedwede Lagerungsstörung aufgerissen wurden und überdies nicht einmal jene Tiefe erreichten, bis zu welcher sich gegenwärtig die Flüsse eingenoagt haben.

Die Bildung der tiefsten Cañons durch das fliessende Wasser hat nichts Unwahrscheinliches und Räthselhaftes mehr, wenn man erfährt, dass der mittlere Colorado von

¹⁾ Powell, a. a. O. 190. Dutton, Report on the geology of the High Plateaux of Utah. 1880 p. 25 ff. und Tert. History, p. 19—22. Atlas, Blatt III.

²⁾ Nach Powell, p. 198.

parallelen Terrassen begleitet wird, die weder durch monokline Falten noch durch Verwerfungen hervorgebracht wurden sondern lediglich der Erosion zuzuschreiben sind. Nördlich vom Grand Cañon erheben sich zunächst die Shin-ar-ump Cliffs, deren oberen Rand feste Conglomerate bilden. Auch die dahinter aufragenden Vermilion Cliffs bestehen aus weichen Schichten, die von einer harten Gesteinsbank triadischen Alters überlagert werden. Der dritte Terrassenabsturz fällt mit dem Rande einer Jurakalkscholle zusammen, unter welcher eine Sandsteinplatte zu Tage ausstreicht. Noch weiter gegen N. folgen Kreideschichten, und diese endlich werden überragt von den Pink Cliffs, dem Schichtenkopfe einer tertiären Ablagerung.

Die einzelnen Abstürze folgen in weiten Intervallen wie die Stufen einer Riesentreppe auf einander¹⁾ und lassen auf eine Denudation schliessen, vor welcher selbst die Aushöhlung des nahezu 2000^m tiefen Grand Cañon zu einer unansehnlichen Leistung zusammenschrumpft. — Powell hat uns von diesem Schlunde ein sehr anschauliches Bild entworfen. Gewöhnlich stellt man sich unter einem typischen Cañon eine schmale Klamm vor, deren Wände lothrecht und in einer Flucht hinabstürzen. In manchen Seitencañons wird diese Erwartung auch nicht getäuscht. In der Regel aber zieht denn doch die Wechsellagerung ungleich harter Schichten eine mannigfaltigere Gestaltung der Seitenwände nach sich. Der Grand Cañon stellt, so weit er in die archaische Formation einschneidet, eine enge, zwischen jäh aufragenden Felsmauern verlaufende Schlucht dar. Im Bereiche der hangenden Sandsteine behält er diesen Charakter bei. Ueber dem Sandsteine aber thürmt sich die horizontal gelagerte carbonische Schichtenreihe empor, welche aus alternirenden Kalkbänken, Thonschiefern und Sandsteinen besteht. Die harten Felsarten, wie die Kalke und auch gewisse Sandsteine, bilden scharf vorspringende Gesimse; in den weichen,

¹⁾ Vergl. Powell, a. a. O. Fig. 74; Dutton, a. a. O. 16. Taf. 3.

leicht zerstörbaren Schiefern dagegen treten die Thalwände in horizontalen Leisten zurück. Doch der Cañoncharakter wird durch einen solchen treppenförmigen Abfall der Seitenwände nicht beeinträchtigt, da die horizontalen Terrassenansätze den senkrechten Stufen gegenüber doch nur eine ganz untergeordnete Rolle spielen.¹⁾

Wie der Coloradostrom so haben auch seine Nebenflüsse, der Grand River, Yampa, San Juan und Colorado Chiquito im O. und der Uinta, Price, San Rafael, Dirty Devil, Escalante, Paria, Kanab und Virgen im W. Cañonthäler ausgegraben. Alle Componenten dieser Nebenflüsse rinneu durch Cañons herab, jeder Bach und jeder Riesel spült seinen eigenen Cañon aus. Die ganze Coloradoplatte ist von solchen Schluchten zerschnitten. Gewöhnliche Täler fehlen. — Powell glaubte die Ursache dieser Erscheinung in der horizontalen Lagerung der Gesteine gefunden zu haben.²⁾ Doch sein Erklärungsversuch ist ganz und gar unzureichend. Die Cañons verwandeln sich auch dort, wo sie gefaltete Schichten durchschneiden, nicht in normale Thalfurchen sondern behalten überall ihre charakteristischen Züge bei. Gilbert und Dutton bringen die Cañonbildung mit dem Fehlen des Pflanzenkleides in Verbindung³⁾. Sie soll darauf zurückzuführen sein, dass der nackte Fels das Regenwasser unmittelbar abfließen und das wenige, das er zurückhält, rasch verdunsten lässt.

„When a shower falls, nearly all the water runs off from the bare rock, and the little that is absorbed is rapidly reduced by evaporation. Solution becomes a slow process for lack of a continuous supply of water, and frost accomplishes its work only when it closely follows the infrequent rain. Thus weathering is retarded.“

Dieser Auffassung gegenüber taucht natürlich sofort die Frage auf, warum denn die vegetationslosen Regionen

¹⁾ Vergl. Die Ansicht des Grand Cañon bei Powell, Fig. 32, 33, 72.

²⁾ a. a. O. 205.

³⁾ Dutton, a. a. O. 248.

der Hochgebirge nicht von Cañons sondern nur von gewöhnlichen Trichterthälern durchfurcht sind. — Dutton's Hypothese befriedigt noch weniger als die Powell's.

Die letzte Ursache der Cañonbildung kann nur in dem trockenen Klima liegen.¹⁾ Würde die Coloradoplate durch einen Umschwung der meteorologischen Verhältnisse jenen atmosphärischen Einflüssen ausgesetzt, welche an der Modellirung unserer Alpen arbeiten, so verwandelten sich die Cañons gewiss sehr bald in normale Thalfurthen. Nur in einem regenlosen oder regenarmen Gebiete, wo die wirksamsten Kräfte der Erosion schlummern, können sich kilometerhohe, geschlossene Thalwände in lothrechten Abstürzen erhalten. Eine reichliche Zufuhr von Feuchtigkeit hätte unmittelbar zur Folge, dass diese Felsmauern von Tobeln zerrissen und durch Bergstürze abgeschrägt würden, dass sie sanftere Böschungen annähmen und durch die Ablagerungen ihres Schuttes das gleichmässige Gefäll der Cañonsohle in eine Aufeinanderfolge von Terrassen und Dammstufen verwandelten.

Betrachten wir das Coloradoplateau unter diesem Gesichtspunkte, so treten die Factoren der Cañonbildung alsbald mit greifbarer Deutlichkeit hervor.

Das erste Erforderniss ist ein Tafelland, welches sich beträchtlich über den Meeresspiegel oder über eine vorliegende Ebene erhebt. Ob es ein Abrasions- oder Schichtenplateau darstellt, ist ohne Belang. Zweitens muss dieses Plateau von einem wohlbewässerten Gebirge überragt werden, dessen Flüsse sich ihren Weg durch das Tafelland suchen und dasselbe von seinem Aussenrande her zersägen. Drittens endlich ist in der ganzen Plateauregion ein trockenes Klima nothwendig, wenn die von den Flüssen ausgehöhlten Schluchten ihre senkrechten

¹⁾ Powell liess diesen entscheidenden Factor zwar nicht ganz ausser Acht, mass ihm aber nur eine untergeordnete Bedeutung bei. a. a. O. S. 205.

Seitenwände und ihr gleichmässiges Gefäll, also überhaupt den Cañoncharakter bewahren sollen.

Die Cañons stellen demnach eine Thalfacies dar, welche an flussreiche aber regenlose Tafellandschaften gebunden ist.

Dass man auch in wohlbewässerten Gebirgen und an Fjordküsten, die mit atmosphärischen Niederschlägen auf das reichlichste bedacht sind, nicht selten Thäler findet, deren mauernartig abstürzende Seitenwände an typische Cañonlandschaften erinnern, ist geradezu ein geographisches Paradoxon.

James Forbes staunte auf seinen Reisen in Norwegen über das auffallend häufige Vorkommen umfangreicher Felsabbrüche.¹⁾ Er schrieb sie in erster Reihe der Steilheit des Gebirgs zu, und mit Recht: Alle diese Bergstürze sind in der That nichts anderes als ein Protest der gegenwärtig herrschenden meteorologischen Verhältnisse gegen das fremdartige Relief, das dem Lande aufgedrängt wurde. In den Alpen kehrt dieselbe Erscheinung wieder. Auch hier besitzen die Gehänge mancher Thäler auf weite Strecken hin einen Böschungswinkel, der weder den reichlichen Niederschlägen noch dem Gesteinscharakter entspricht und erst jetzt durch das Absitzen der Felsmassen allmählich auf das richtige Mass herabgedrückt wird. Die senkrechten Wände schmaler, in ältere Thalböden eingeschnittener Klammern lassen sich allerdings dadurch erklären, dass die Erosion des Wasserlaufes mitunter der Verwitterung der Gehänge voraneilt. Wo aber der alte, breite Thalgrund selbst von prallen Felsmauern begleitet wird, dort muss ein Eingriff in die normale Entwicklung des Thales stattgefunden haben. Welcher Kraft eine so auffallende Störung gelang, verrathen die abgeschliffenen und geschrammten Flächen, die sich an den schroffen Thalwänden hie und da erhielten. Sie sind die Spuren, welche die Erosion des strömenden Eises hinterliess.

¹⁾ Forbes, Norwegen und seine Gletscher, 138.

Der alte Streit, ob die Gletscher ihren Untergrund angreifen oder schützen, wurde vor Kurzem endgiltig entschieden. Ich gehe nicht mehr auf ihn ein. Das ausgezeichnete Werk Penck's über „die Vergletscherung der deutschen Alpen“ enthebt mich dieser Aufgabe. Seit die Untersuchung des nordeuropäischen Diluviums feststellte, dass die von den skandinavischen Eisströmen fortgeschobenen Grundmoränen bald gangförmig in ältere Schichten injicirt sind bald losgerissene Schollen des Muschelkalkes, der Kreide- und Braunkohlenformation umschliessen;¹⁾ namentlich aber seit Penck im Geschiebelehm der nordtiroler und baierischen Alpen sämtliche Gebirgsarten vertreten fand, über welche die einzelnen Gletscher vor Zeiten hinwegflossen, hat man nicht das geringste Recht mehr, die zerstörende Einwirkung des Eises auf seinen Untergrund in Zweifel zu ziehen.²⁾

Wie Heim die Arbeit der Reuss nach ihren Ablagerungen am oberen Ende des Urner Sees ziffermässig abzuschätzen suchte, so kann man auch aus dem Volumen der Grundmoränen sowie aus der Schlammführung der Gletscherbäche einen zuverlässigen Massstab für die Leistungen der glacialen Erosion ableiten. Für den Unteraargletscher berechnete Penck nach Dollfus' Beobachtungen eine jährliche Abtragung von 0.6^{mm}. „In 1666 Jahren würde demnach eine 1^m starke Schicht entfernt werden, während das Wasser im Gebirge 4125 Jahre braucht, um eine gleich dicke Lage zu erodiren. Dabei ist ausschliesslich der Gletscherschlamm in Betracht gezogen, der sich im Wasser suspendirt findet, und das Geröll, welches durch den Gletscherbach entführt wird, gänzlich ignorirt; und doch ergibt sich, dass der Gletscher zwei und ein halbmal schneller erodirt als das rinnende Wasser.“³⁾

¹⁾ Helland, Ueber die glacialen Bildungen der nordeuropäischen Ebene. Ztsch. der Deutschen Geolog. Gesellsch. 1879. S. 93 u. folg.

²⁾ Penck a. a. O. 41, 46.

³⁾ A. a. O. 202.

Die Gesamtmasse des Materials, das ein grosser Gletscher der Diluvialzeit fortschaffen konnte, hat Penck aus der Mächtigkeit der Grund- und Endmoränen berechnet, welche der alte Isargletscher auf der bayerischen Hochebene ablagerte. Er fand, dass das ganze Erosionsgebiet dieses Gletschers durch die abschleifende Thätigkeit des Eises um mindestens 13^m erniedrigt wurde. Eine noch höhere Ziffer, nämlich 26^m, ergibt sich für die Abtragung, wenn man nicht allein die Moränen sondern auch ihre Unterlage, die mächtigen „Glacialschotter“ in Rechnung bringt. Diese fluviatilen Ablagerungen stellen ja nach Penck's Untersuchungen ohnehin nur die Reste von Grundmoränen dar, welche durch die Gletscherbäche fortgeführt und wieder abgesetzt wurden.

Auf demselben Wege, den Penck wählte, hatte vor ihm schon Helland die Abrasion, welche Schweden und Finnland durch ihre diluvialen Eisströme erlitten, auf mindestens 80^m veranschlagt.¹⁾ — Diese grossartigen Leistungen verböten uns, Tyndall's Theorie einer Thalbildung durch glaciale Erosion ohne weiteres von der Hand zu weisen, wenn sich nicht in den Alpen und in anderen gründlich erforschten Gebirgen der Nachweis führen liesse, dass die grossen Gletscher der Diluvialzeit bereits Thäler vorfanden — ja noch mehr, dass diese Thäler damals schon ebenso tief ausgehöhlt waren wie heutzutage. Die bekannten Lagerungsverhältnisse der Gosauschichten in den Kalkalpen, insbesondere aber das Vorkommen tertiärer Sedimente im Unterinntale, im Enns-, im Murthale u. s. w. lassen darauf schliessen, dass die Thalbildung hier lange vor dem Anbruche der Eiszeit eingeleitet wurde. Weitere Beweise hiefür liefern die Querprofile zahlreicher Alpenthäler. Ich erinnere nur an das Reussthal, dessen Seitenwände bis zu einer Höhe von 2000^m allenthalben deutliche Spuren der glacialen Erosion erkennen lassen, während die höher aufragenden schroffen Felsgrate der Einwirkung

¹⁾ Helland, a. a. O. 99, 100.

des Gletschereises seit jeher entzogen waren. Das Reussthal muss demnach wenigstens bis auf das Niveau von 2000^m herab präglacialen Alters sein. Von dieser scharf markirten Grenzlinie weg stürzen die Gehänge in drei Staffeln zur Thalsole ab. Nun haben wir aber früher gesehen, dass ein solcher Terrassenbau einzig und allein durch das periodische Nachlassen und Wiedererwachen der Erosion des Wassers hervorgebracht werden kann. Das Eis ist gar nicht im Stande, etwas ähnliches zu leisten. Seine Thätigkeit ist immer nur auf die trogförmige Erweiterung des Strombettes gerichtet. Der Terrassenbau muss also schon vor dem Eintritte der Vergletscherung vollendet worden sein, und das Reussthal ist demnach soweit seine abgeschliffenen Seitenwände gestuft sind, d. h. bis hinab auf den Thalboden von Gurnellen, präglacial.

In neuester Zeit suchte Helland Tyndall's Theorie auf die Botner und die Sackthäler Norwegens anzuwenden.¹⁾

Die Botner, die den Kesselthälern unserer Gebirge entsprechen, sind nichts anderes als Kare mit schroffer Felsumrandung und nahezu ebenem Grunde. Sie beherbergen in der Regel kleine Seebecken, welche am Ausgange des Kessels durch alte Stirnmoränen oder auch durch feste Felsriegel abgesperrt sind. Es liegt auf der Hand, dass das rinnende Wasser allein unter keinen Verhältnissen solche Thalformen schaffen kann. Ein gewöhnliches Kar steigt immer gleich einem Trichter aus dem oberen Ende der Klamm empor. Es besitzt nie eine flache Sohle, birgt nie und nirgends einen See. Botner und Kare sind also wesentlich verschieden und müssen auch auf verschiedenen Wegen entstanden sein. Offenbaren sich in dem ganzen Gepräge der Einen nur die Wirkungen des Wassers, so weisen die innigen Beziehungen der Anderen zum Gletscherphänomene auf eine Erosion des strömenden Eises hin. Partsch hat nachgewiesen, dass die Kesselthäler vorzugs-

¹⁾ Om Botner og Säckedale. Vergl. Penck's Referat im „Ausland“, 1882. S. 192.

weise gegen N. und O. exponirt sind, dass sie nur in vormals vergletscherten Regionen auftreten und sogar an eine bestimmte Höhenstufe gebunden sind, deren Basis nahezu mit der Schneegrenze der Eiszeit zusammenfällt.¹⁾

Wer diese gewichtigen Beweisgründe auf sich einwirken lässt, der wird trotz aller vorgefassten Meinungen zugehen müssen, dass die eigenartige Gestaltung der Zirkusthäler ausschliesslich der glacialen Erosion zuzuschreiben ist. Da sich aber diese Eigenart, diese Abweichung von den Formen eines gewöhnlichen Kares nur in dem ebenen Grunde und dem häufigen Vorkommen von Seebecken ausspricht, zwingt uns nichts zu der von Helland und auch von Partsch vertretenen Annahme, dass die Botner ganz und gar durch das Gletschereis ausgeschürft wurden. Eine solche Leistung ist schon aus dem Grunde nicht recht denkbar, weil die Kesselthäler, wie Partsch selbst gezeigt hat, die Firmulden der alten Eisströme bildeten und daher unmöglich der Schauplatz einer besonders kräftigen Erosion sein konnten. Man entgeht dieser Schwierigkeit nur durch die Voraussetzung, dass die Gletscher bereits fertige Trichterthäler vorfanden, deren Kare sie durch die Aushebung des Grundes und durch die Erosion von Seebecken zu wahren Cirquen ausbildeten. Damit aber schrumpft das Problem der Botnerbildung zu der Frage nach der Entstehung der glacialen Kesselseen zusammen.

Wie für die Aushöhlung der Botner so glaubt Helland auch für die der Sackthäler, welche sich nicht aus mehreren Verzweigungen sondern aus einem geschlossenen Amphitheater entwickeln, die glaciäre Erosion in Anspruch nehmen zu müssen, weil das Wasser angeblich nie eine Thalfurche dieser Art ausnagen könne. Dieses Argument ist jedoch nicht stichhältig. Die Entwicklungsgeschichte der Erosionsthäler lehrte uns, dass sich gerade jene Rinnen, welche im Hintergrunde durch einen Zirkus abgeschlossen sind, der ihnen zu Grunde liegenden Stammform, dem

¹⁾ Partsch, Die Gletscher der Vorzeit. S. 177—190.

Trichter, am meisten nähern. Sobald man Helland's Auffassung gelten lässt, wird man genöthigt, sich zu den sonderbarsten Annahmen zu bequemen. In den Hohen Tauern z. B. müsste die Aushöhlung des Gasteiner oder des Stubachthales dem Wasser, die des Habach-, des Unter- und Obersulzbachthales dagegen dem Eise zugeschrieben werden.

Halten wir uns statt an Speculationen an glaubwürdige Beobachtungen, so erscheinen die glacialen Wirkungen, dem ephemeren Charakter des Gletscherphänomens entsprechend, nur als untergeordnete Züge in der Gestaltung der Thäler. Die Erosion des Eises war auf eine ungleich kürzere Zeit beschränkt und fand überdies unter weit schwierigeren Verhältnissen statt als die des Wassers. Man bedenke nur, dass der Gletscher sowohl in der Vertiefung als auch in der Ausweitung seines Strombettes auf sich allein angewiesen ist, dass er den Thalgrund und die Thalwände gleichzeitig abschleift, während das Wasser ausschliesslich an der Vertiefung seines Rinnals arbeitet, die Zerstörung der Gehänge aber den Atmosphärien überlässt.

Der wesentlichste Unterschied zwischen der Erosion des fliessenden Wassers und der des Gletschereises offenbart sich in den Bedingungen, unter denen beide in Wirksamkeit treten. Ein Wasserlauf vertieft sein Thal nur so lange, bis er dessen Sohle der gesetzmässigen Gefällscurve angepasst hat. Von dem Augenblicke, da die letzte Unregelmässigkeit aus dem Längenprofile des Rinnals schwand, hängt die weitere Entwicklung des Thales, wenn wir von der Anhäufung des Gehängschuttes absehen, ausschliesslich vom Hauptthale und in letzter Instanz vom Stande des Meeresspiegels ab. Ist der Stammfluss gezwungen, seine Geschiebe abzulagern, dann bricht auch für alle Seitenthäler eine Periode der Auftragung, der Erhöhung des Thalgrundes an. Das Gefäll wird immer tiefer herabgedrückt, die Erosion gebrochen.

Der Thätigkeit des strömenden Eises ist eine solche Unterordnung unter ein allgemeines Drainirungsprincip fremd. Jeder Gletscher arbeitet auf eigene Faust. Ob sich das Thal, in das er herabsteigt, in einer Periode der Aushöhlung oder in einer Periode der Auftragung befindet, bleibt für seine Wirksamkeit ohne Belang. Die Sohle des Innthales wurde unmittelbar vor der letzten grossen Vergletscherung durch die Aufschüttung der „unteren Glacialschotter“ um mehr als 200^m erhöht; dem Inngletscher aber gelang trotz des verschwindend kleinen Gefälls, diese fluviatilen Ablagerungen von Innsbruck bis über Rosenheim hinaus zu erodiren und hinwegzusehauern.¹⁾ Die Gletscher können also ihren Untergrund auch dort noch angreifen, wo das Gefäll bereits so weit vermindert ist, dass es die Wirkungen des Wassers paralysirt. Ihre Transportkraft ist eben lange nicht so beschränkt wie die der Wasserläufe. Ganz und gar vermag aber auch sie sich den Einflüssen der Thalgestaltung nicht zu entziehen.

Die besten Anhaltspunkte für das Studium der glacialen Erosion und ihrer Abhängigkeit vom Relief bietet die Vertheilung der Moränen. Penck zeigte, dass längs des Verlaufes des alten Isar- und Illergletschers nur dort mächtige Grundmoränen vorkommen, wo die Thalwände beckenförmig auseinander treten und die Ausbreitung der diluvialen Eismassen gestatteten. In den engeren Thalgründen zwischen den einzelnen Becken verschwinden die glacialen Geschiebe. Dagegen stellen sie sich merkwürdiger Weise auf der Höhe der meisten Pässe ein, welche aus dem Innthale in's Isargebiet führen und offenbar schluchtenartige Strecken der alten Gletscherbetten darstellen. Die Eisströme wurden hier in ihrer Bewegung gehemmt und rückten vielleicht noch langsamer vor als in den weiten Thalbecken.

Aus diesen Beziehungen zwischen dem Auftreten der Grundmoränen und der Geschwindigkeit der Gletscher-

¹⁾ Penck, a. a. O. 336.

bewegung zieht Penck den unanfechtbaren Schluss, dass die Gletscher, wenn sie langsam vorrücken, ihre Geschiebe ablagern, während sie dort, wo sich ihre Stromgeschwindigkeit steigert, die Grundmoräne fortschleifen und in Folge dessen den Thalboden erodiren.¹⁾ Ihre Einwirkung auf den Untergrund ist also keine gleichmässige. Sie nimmt unter bestimmten Voraussetzungen, von denen wir soeben eine kennen lernten, an Intensität zu. Die Gletscher können daher überall, wo die Bedingungen für eine energischere Erosion gegeben sind, Becken ausfurchen — eine Leistung, die ihnen schon deshalb a priori zugetraut werden darf, weil sie in der Aushöhlung einzelner Thalstrecken durch ihre ungehemmte Transportkraft jeder Rücksicht auf die gleichzeitige Entwicklung des Gesamthales enthoben werden. Ihnen gegenüber sind daher jene Factoren, welche das Wasser an der Ausspülung von Becken hindern, ganz und gar machtlos. Es wurde ja durch zahlreiche Beobachtungen der Beweis erbracht, dass ein Eisstrom auch aufwärts fließen, dabei noch erodiren und seine Grundmoräne über die steilsten Abhänge hinwegschaffen kann.²⁾

Ramsay, der Erste, der von einer glacialen Seebildung zu sprechen wagte, schloss zunächst aus geographischen Prämissen, u. z. aus dem überraschenden Fjord- und Seenreichthume alter Gletscherregionen, dass das Eis Becken ausschürfen könne. Unwiderlegliche Beweise hiefür wurden aber doch erst von Penck beigebracht. Seine Beschreibung der südbaierischen Seen muss den letzten Zweifel verscheuchen.³⁾

Suchen wir nun die Bedingungen aufzudecken, unter denen die glaciäre Erosion an bestimmten Stellen soweit gesteigert wurde, dass sie Seebecken auszuhöhlen vermochte.

¹⁾ A. a. O. 95—98.

²⁾ Vergl. Helland, Die glaciäre Bildung der Fjorde und Alpenseen in Norwegen. Poggendorffs Annalen. B. 146. S. 549. Penck, a. a. O. 391, 392.

³⁾ A. a. O. 354.

Ramsay sucht den Schauplatz der kräftigsten Gletscherwirkungen im unteren Abschnitte der Thäler. Hier muss sich der Eisstrom, welcher über die steiler abfallende Sohle seines Oberlaufes verhältnissmässig rasch fortfloss, aufstauen. Er übt in Folge dessen einen erhöhten Druck auf den Untergrund aus und vermag daher gerade an dieser Stelle mit besonderer Energie zu erodiren.¹⁾ So mögen nach Ramsay manche Alpenseen entstanden sein, welche in alten Gletscherbetten, am unteren Ende steiler Thalstrecken angetroffen werden, und auch viele Fjordtiefen der skandinavischen Küste, die ja nach den Untersuchungen nordischer Geologen unseren grossen Alpenseen vollkommen entsprechen.²⁾

Eine örtliche Zunahme der glacialen Erosion hat man ferner an solchen Stellen beobachtet, wo ein Gletscher durch die Vereinigung mit bedeutenden Zuflüssen rasch zu einem mächtigen Eisstrom anschwoh. Die genau ermittelten Tiefenverhältnisse einiger Fjorde Norwegens, wie des Sogne- und Hardangerfjords, liefern hinreichende Belege. So sinkt z. B. die Sohle des ersten gerade dort, wo die Eismassen von Fjaerland und Vik mit denen des inneren Sogne verschmolzen, um nicht weniger als 200^m hinab, und ähnliche Abstufungen wiederholen sich seewärts an der Einmündung aller Strombetten ansehnlicher Seitengletscher.³⁾

Einen nachweisbaren Einfluss auf die Intensität der Gletscherwirkungen übt endlich die lithologische Beschaffenheit des Untergrundes aus. Wenn ein Eisstrom auf seiner Bahn aus harten in weiche Schichten übertritt, wird er

¹⁾ Eine bündige Darstellung der Deduction Ramsay's liefert J. Geikie in seinem Vortrage über „The aims and method of geological inquiry. Nature, 1882. Vol. 27 p. 64.

²⁾ Es lässt sich nicht rechtfertigen, dass Rüttimeyer in seiner bekannten Schilderung der Bretagne den Begriff „Fjord“, dem heutzutage eine bestimmte geologische Bedeutung innewohnt, auf ganz heterogene, wenn auch ähnliche Erosionsformen anwendet.

³⁾ Helland, a. a. O. 556, 557.

diese ungleich rascher erodiren als jene und in Folge dessen die Aushöhlung von Seebecken in Angriff nehmen. So ist nach Logan, einem der Ersten, welche Ramsay's Theorie anerkannten, die Entstehung zahlreicher Becken in Canada zu erklären. Selbst die grossen Seen, wie der Huronensee mit der Georgian Bai, der Obere, der Winnipegsee und die einzelnen Seen, welche der Mackenzie River drainirt, sind an die paläozoische Randzone des ausgedehnten, altkrystallinischen Kernes der Hudsonbairegion gebunden. Am auffallendsten ist die Lage des Oberen Sees. Sein Becken fällt beinahe vollständig mit einer silurischen Sandsteinscholle zusammen, welche zungenförmig in das alte Massiv eindringt und rings von den harten Felsarten der archaischen Formation umschlossen wird.¹⁾ Auf der skandinavischen Halbinsel lassen sich ähnliche Verhältnisse nachweisen. Auch hier ist es wohl kaum ein blosser Zufall, „dass in der Nähe der grössten Seen Reste der silurischen Formation auftreten. Dies ist der Fall bei dem Mjösen, dem Randsfjord und Tyrifjord im südlichen Norwegen und dem Wener-, Wetter-, Stor- und Siljansee in Schweden. Diese Seen scheinen alte silurische Landstrecken zu repräsentiren, welche der glacialen Erosion rascher zum Opfer fielen als die harten krystallinischen Gesteine der Umgebung“. ²⁾

Doch mit den drei bisher erwähnten Ursachen einer localen Steigerung der Erosion lässt sich nur ein kleiner Bruchtheil der glacialen Seebecken in Verbindung bringen. Weitaus die meisten verdanken ihre Entstehung weder einer Stauung der Eismassen noch der Vereinigung mehrerer Gletscher noch der Zusammensetzung des Untergrundes.

Die baierischen Seen liegen theils auf der Hochebene selbst, theils an jenen Stellen, wo die diluvialen Gletscher

¹⁾ Vergl. Die geognostische Karte in Dana's Manual of Geology. p. 144.

²⁾ Holland, Ueber die glacialen Bildungen der nordeuropäischen Ebene. Ztschr. der Deutschen Geolog. Ges. 1879. S. 100, Anm.

aus den Alpenthälern herausquollen, um sich über die vorliegende Ebene zu ergiessen. Nach den früher mitgetheilten Beobachtungen im Iller- und Isargebiete sollte man nun erwarten, dass die Eisströme, sobald ihnen vor der Mündung ihrer Thäler Gelegenheit geboten wurde, sich fächerförmig auszubreiten, nicht mehr erodirten sondern im Gegentheile ihre Grundmoränen ablagerten. Diese Voraussetzung wird jedoch, so gerechtfertigt sie ist, nicht erfüllt. Das ungeheuerere Moränenamphitheater des alten Inngletschers beweist, dass seine Zunge unterhalb Kufstein wie ein Schwemmkegel in die Breite floss. Nichtsdestoweniger vermochte das Eis hier noch kräftiger zu erodiren als im Innthale und sogar jene weite Senke auszuhöhlen, in deren Mitte das Rosenheimer Moos jetzt noch an die Zeit erinnert, da dieses Becken einen ausgedehnten See beherbergte.¹⁾

Noch auffallender ist die Lage jener Seen, welche dem Gebiete des alten Isargletschers angehören. Folgen wir dem Verlaufe dieses Eisstromes aus den Kalkalpen bis zum Nordende des Starnberger Sees. Bei Mittenwald ist die Grundmoräne in einer Mächtigkeit von 30–40^m erhalten. Hier hat der Gletscher nicht erodirt. Er konnte sich eben frei gegen W. und O. ausbreiten.²⁾ Weiter im N. aber, wo er in die Jachenau eindrang, grub er die Mulde des Walchensees aus, schliff dann den Kesselberg ab, der ihm im Wege stand, und erodirte endlich in den glacialen Schottern zwischen dem Alpenrande und dem vorliegenden Molasserücken, an dem er sich staute, das Becken des Kochelsees. Von hier aus überströmte er den Molassewall, um über die Decke der unteren Glacial-schotter bis zu der durch Moränenanhäufungen bezeichneten Grenze vorzudringen. Auf diese letzte Strecke seines Strombettes fallen noch zwei Seen: Die kleine Mulde des

¹⁾ Penck, a. a. O. 337, 338.

²⁾ Ebend. 95.

Ostersees und das langgestreckte Becken des Starnberger oder Würmsees, dessen Grund bis in die tertiären Schichten hinabreicht.¹⁾ An diesen beiden Stellen und nur an diesen Stellen hat der Gletscher kräftig erodiert. Warum — wissen wir nicht. Der stauende Molassesattel, auf den sich Penck beruft, vermag denn doch nur die Entstehung des Kochelnimmermehr aber die des Oster- und Würmsees zu erklären.

Für die Seenreihe, welche der Eisstrom des Loisachthales aushöhlte, für das Murnauer Moos, den Staffel- und den Ammersee, gilt Wort für Wort das über den Verlauf des Isargletschers Gesagte. Der alte, ausgefüllte Murnauer See lässt sich ebenso wie der Kochelsee allenfalls noch mit der Stauung des Eises an dem Molassewall in Verbindung bringen. Wodurch aber die glaciale Erosion jenseits dieses Rückens und gerade nur an zwei Stellen soweit gesteigert wurde, dass sie die Becken des Staffel- und Ammersee's ausschürfen konnte, bleibt unerklärt.

Die reihenförmige Anordnung der Seebecken tritt auch im Norden Europa's als ein charakteristischer Zug alter Gletschergebiete hervor. An der Küste Norwegens zieht sich in den Betten vieler Eisströme der Vorzeit von der tiefen Depression des Fjords eine ganze Schnur von Felsbecken thaleinwärts, deren unterer Rand mit je einer alten Stirnmoräne gekrönt ist.²⁾ In der hohen Tatra, im Böhmerwalde, Schwarzwalde und Wasgaue kehrt dieselbe Erscheinung wieder. Die kleinen Kesselseen dieser einst vergletscherten Gebirge, insbesondere die Meeraugen der Tatra, liegen hinter Felsriegeln, die sehr häufig durch Blockwälle maskiert werden.³⁾

Diese innigen Beziehungen zwischen den glacialen Seebecken und den Stirnmoränen drängen uns die Annahme auf, dass der Gletscher hauptsächlich mit der Zunge

¹⁾ Ebend. 355—365.

²⁾ Helland führt Beispiele aus dem Sogne-, Hardanger- und Christiania-Fjord an. Vergl. „Die glaciale Bildung der Fjorde“. S. 553, 558.

³⁾ Partsch, Die Gletscher der Vorzeit in den Karpathen und den Mittelgebirgen Deutschlands. S. 108, 131, 144, 145, 191—195.

erodirt und daher dort eine kessel- oder trogförmige Vertiefung aushöhlt, wo er längere Zeit hindurch endet. Damit haben wir den springenden Punkt unseres Problems berührt. Was befähigt nun gerade die Gletscherzunge zu einer besonders energischen Erosion? Was hat das Ende vor den übrigen Theilen des Gletschers voraus? — Wasser. — Wer je an einem heissen Sommertage das Eisthor eines Alpengletschers betrat, der wird sich des Eindrucks nicht haben erwehren können, dass die ganze Gletscherzunge mit Schmelzwasser getränkt sei wie ein vollgesogener Schwamm. Im Gegensatze zu den oberen Partien des Eiskörpers dringt die Feuchtigkeit hier bis in die Grundmoräne, ja selbst bis auf den Felsboden hinab. Sie durchweicht also das Schleifpulver des Gletschers, begünstigt nicht nur die Zersetzung, sondern durch den nächtlichen Frost auch die mechanische Zertrümmerung seines Untergrundes und arbeitet so der Erosion des strömenden Eises in die Hand. Der Effect ist derselbe als wenn der Gletscher aus einem harten in ein weiches Gestein überträte.

Wo die Seen, wie in den Norwegischen Fjordthälern, hinter wohlerhaltenen Stirnmoränen liegen, dort fällt ihre Entstehung offenbar in eine Rückzugsperiode des Gletschers. Fehlen hingegen die Moränenwälle, wie am Nordende des Staffel- und Ostersees in Baiern, dann müssen wir annehmen, dass der Eisstrom mit Unterbrechungen vorrückte und, so oft er in seiner Bewegung inne hielt, ein Becken ausgrub, dessen Moränensaum er beim nächsten Vorstosse zerstörte.

Wir haben nunmehr alle Folgen, welche die Vergletscherung eines Thales nach sich zieht, kennen gelernt. Sie offenbaren sich hauptsächlich in der Ablagerung mächtiger Geschiebmassen, in der Ausweitung der Thalrinne zu einem breiten, steilwandigen Graben und in der Aushöhlung einzelner Becken in Folge einer localen Steigerung der Erosion. — Doch die Seen werden früher oder später ausgefüllt, die steilen Thalwände durch

Verlag von H. Dominicus.

- DAS BRAUNKOHLLENBECKEN von Aussig bis Komotau-Priesen. Eine Skizze. 1874 M. —.75 = fl. —.36 kr.
- GLÜCKSELIG, A. M., Das Vorkommen von Mineralien im Egerer Kreise. 1862 M. —.56 = fl. —.28 kr.
- GROEGER, J., Die Statik der Tunnelgewölbe im druckreichen Gebirge. Mit 7 lith. Tafeln. 1881 M. 4.— = fl. 2.— kr.
- HICKMANN, A. L., Geologisch-Montanistische Karte des Königr. Böhmen. M. 5.50 = fl. 2.75 kr.
- LUDLOFF, K., Über die Verwerthung der Linien gleicher Höhe für Bau, Forst-, Land- und Volkswirtschaft u. deren Wirkung auf die Fruchtbarkeit und den Wasserreichthum, sowie auf die Bevölkerung eines Landes. 1878 M. —.80 :
- OTT, KARL, v., Vorträge über Baumechanik. Gehalten an der techn. Hochschule in Prag. Zweite umgearb. Auflage. I. Theil: Statik des Erdbaues, der Stützmauern etc. Mit 91 Holzschnitten. 1877 M. 3.80 :
- II. Theil: Die Zug-, Druck- und Schubfestigkeit der Bausteine. (Bog. 1—17). Mit 180 Holzschn. 1880 M. 7.40 :
- REUSS, Dr. AUG. E., Geognost. Skizze der Umgebungen von Marienbad und Franzensbad. 1863 M. 2.40 :
- Geognostische Karte von Carlsbad etc. ap. M. 1.60 :
- SCHMIDT, Prof. GUST., Neue populäre Zinseszinsen-Rechnung zur Schätzung eines Bergwerkes. 1878 M. —.40 :
- SCHNEIDER G., Studien aus dem österr. Bergrechte. 1874 M. 1.20 :
- Eisenbahntarife für böhm. Braunkohle 1881 M. 1.20 :
- STEINER, F., Bilder aus der Geschichte des Verkehrs in Böhmen. Entwicklung der Spurbahn. Eine Festschrift zum 50. Jahrestage des Sieges Stephensons bei Rainhill 1829. Mit zahlr. lith. Abbildungen. 1880 M. 4.— :
- TOLDT, Dr. CARL, Zur Waldfrage in dem österr. Alpenlande. 1877 M. —.32 :
- ÜBERSICHTSKARTE des nordwestböhmisches Braunkohlenfeldes. Komotau. 1883 M. 1.— :
- VRBA, Dr. K., Krystallographische Tafeln für die mineralogische Vorlesung an der Prager Universität. 3. Auflage, 19 Tafeln. 1876 M. 1.— :
- ZEPHAROVICH, Dr. V. Ritter v., k. k. Prof. in Prag. Krystallographische Wandtafeln für Vorträge über Mineralogie an höheren und niederen Lehranstalten. Für Mittelschulen approbirt vom k. k. Ministerium für Cultus und Unterricht. 70 Tafeln. 1877 M. 19.— = fl. 9.50 kr.
- Dieselben auf Pappendeckel gespannt M. 30.— = fl. 15.— kr.