

DIE
ÜBERTIEFUNG DER ALPENTHÄLER

VORTRAG


GEHALTEN AUF DEM VII. INTERNATIONALEN GEOGRAPHEN-KONGRESS
IN BERLIN IM JAHR 1899

VON

PROF. DR. **ALBRECHT PENCK**
(WIEN)

(SONDERABDRUCK AUS DEN VERHANDLUNGEN DES VII. INTERNATIONALEN
GEOGRAPHEN-KONGRESSES IN BERLIN, 1899)

BERLIN 1900.
DRUCK VON WILHELM GREVE.

Neuere Untersuchungen über Thalbildung haben uns die typischen Eigenthümlichkeiten der normalen, durch das rinnende Wasser ausgefurchten Thäler völlig aufgehehlt. Jede Vereinigung von Thälern, die wir als Thalsystem bezeichnen, ist gekennzeichnet durch die Gemeinsamkeit des Sinnes aller seiner Abdachungen sowie durch eine Korrelation der einzelnen Glieder, welche an die der Gliedmaassen von Organismen erinnert. Wie jeder einzelne Fluss eine beinahe regelmässig nach abwärts gekrümmte Gefällskurve seines Spiegels sich herzustellen bestrebt, so bilden alle Sohlen eines normal ausgebildeten Thalsystems ein System sich asymptotisch treffender Gefällskurven; ein Thal erreicht das andere in der Höhe von dessen Sohle. Die Gleichsohligkeit der Thalmündungen ist ein charakteristisches Merkmal eines normalen Thalsystems. Schneidet der Fluss eines Hauptthales ein, so müssen ihm die Nebenthäler folgen, die Thalvertiefung schreitet nicht blos an einem Thal, sondern im ganzen System nach aufwärts fort, und alle dessen einzelnen Glieder zeigen nach einer bestimmten Zeit innerhalb eines gewissen Umkreises den auf Thalvertiefung weisenden V-förmigen Querschnitt. Steht die Vertiefung eines Hauptthales still, so macht sich auch dies nach aufwärts hin geltend, und wieder innerhalb einer bestimmten Einflussphäre erlangen alle Thäler das für Thalverbreiterung charakteristische  förmige Profil. Es befinden sich innerhalb eines normalen Thalsystems alle benachbarten Glieder mit alleiniger Ausnahme der untergeordneten in derselben Entwicklungsphase.

Die Mehrzahl der Alpen-Thalsysteme weicht in ihrer Erscheinung von diesem Bilde normaler Thalentwicklung wesentlich ab. Vor Allem entbehren sie in vielen Fällen der Gleichsinnigkeit des Gefälles. Der Boden gerade der grössten zeigt wannenförmige Einsenkungen, welche die herrlichen Alpenseen bergen; fehlen solche, so liegen uns gewöhnlich Anzeichen ihres früheren Daseins vor in Gestalt von breiten Schotter- und Moorflächen, sowie von Riegeln, welche die Thäler queren und in enger Schlucht vom Thalflusse durchmessen werden. Ein solcher Riegel ist der des Kirchet ob Meiringen, in welchen die Aare einen stellenweise nur 1,5 bis 2 m breiten Einschnitt eingesägt hat. Die Hauptthäler sind ferner in der Regel weit mehr verbreitert und vertieft als die Nebenthäler. Wie breit und tief ist beispielsweise das Rhein-Thal, wie unbedeutend seine Nebenthäler mit Ausnahme des Ill-Thales! Wie heben sich das Aare-Thal, wie die Querthalstrecken des Inn und der Salzach vor ihren Nachbarn hervor. Eine Gleichsichtigkeit der Mündungen findet nur ausnahmsweise statt. Meist stürzt der Nebenfluss in Schnellen, gewöhnlich in tiefe Klammern einschneidend, zum Hauptthal hinunter, nicht selten auch erreicht er es in kühnem Falle. Die Stufenmündungen herrschen in den Alpen-Thälern vor. Ein grosser Theil der Schönheiten unserer Alpen-Thäler beruht auf den geschilderten Eigenthümlichkeiten. Die Hauptthäler erfreuen uns durch ihre herrlichen Seen oder ihre breiten und tiefen, meist gut angebauten Sohlen, die Nebenthäler durch ihre höheren Böden mit dunklem Waldkleide oder saftigen Matten. Die Wasserfälle an ihren Mündungen — man denke an den Pisse-vache oder die Reichenbachfälle bei Meiringen oder an die Krimmler Fälle —, sind vielbewunderte Naturschönheiten, die Klammern — man erinnere sich an die Gorge du Trient, an die Liechtenstein- oder Kitzloch-Klamm —, vielbesuchte Arbeitsstätten der Natur. Die an diesen Stufen zur Entfaltung kommenden Wasserkräfte liefern die Motoren für die gewerbfleissigen Thäler von Glarus, Appenzell und Vorarlberg und beschenken viele Alpendörfer nunmehr mit elektrischem Licht.

Wir haben es in den meisten Alpen-Thälern nicht mit gleich entwickelten, sondern mit verschiedenen ausgebildeten benachbarten Gliedern zu thun. Das Gesetz regional gleicher Entwicklungsphasen herrscht nicht und ist ersetzt durch ein anderes, das der Abhängigkeit der Entwicklung von der Grössenordnung der einzelnen Glieder. Ihr Zustand entspricht nicht dem Arbeitssinne ihrer Flüsse. Diese arbeiten in den Hauptthälern nicht an Vertiefung, sondern allenthalben an Aufschüttung; sie füllen die Seen zu und erhöhen ihre Betten, während sie in den Nebenthälern, insbesondere an deren Mündungen, lebhaft einschneiden; sie bestreben sich, die Stufenmündungen ebenso

wie die ungleichsinnigen Gefällstrecken der Thalsohlen zu beseitigen. Dabei ist aber die Anordnung der übertieften Thalsysteme genau dieselbe wie die gewöhnlicherer Thalsysteme; sie haben eben dieselben Verästelungen wie die normalen, sie zeigen genau dasselbe Bild von verzweigten Bäumen, wesswegen wir nur von Verschiedenheiten in der Ausbildungsweise, nicht in der Anlage der Thäler sprechen dürfen, und um zu einem genetischen Verständniss ihrer Eigenheiten zu gelangen, an die normale Entwicklung anknüpfen müssen. Wie kann, wollen wir uns fragen, ein normales Thalsystem in ein alpines umgebildet werden?

Unwillkürlich denken wir da, Angesichts der grossartigen Schichtstörungen im Gebirge, zunächst an den Einfluss von Krustenbewegungen. Wir können uns vorstellen, dass ganze Thalsysteme mit dem Gebirge aus irgend welcher Ursache zurücksanken. Das würde erklärlich machen, warum die grossen Thäler ein rückläufiges Gefälle erhielten und ihre Sohlen in Seewannen verwandelt werden, aber das Auftreten der Stufenmündungen der Nebenthäler, sowie deren hoher Sohlen bleiben unerklärt; denn wenn ein Gebirge mit seinen Thälern einsinkt, so werden davon Haupt- und Nebenthäler gleichmässig betroffen, und nicht bloss die grösseren, sondern mit ihnen auch die benachbarten kleineren Thäler müssten rückfällig werden und wir müssten verästelte Thalwannen erhalten, wie sie nur zwei Alpenseen, der Vierwaldstätter und der Luganer, aufweisen, während alle anderen eine Einförmigkeit der Wannengestalt aufweisen, die höchst auffällig ist. Wir können daher Heim's Hypothese über die Entstehung der Alpenseen in Folge eines Rücksinkens der Alpen nicht zur Erklärung unseres Phänomens heranziehen. Ebenso versagen Erklärungsversuche durch Annahme von hebenden Ketten, welche Thäler abgeriegelt hätten; denn auch dann erhielten wir regional gleiche Entwicklungsphasen der betroffenen Thäler, nicht aber das, was uns die Natur bietet, Abhängigkeit der Entwicklung von der Grösse der Thäler.

Will man das letztere Phänomen durch Annahme von Krustenbewegungen erklären, so muss man sich letztere auf die grossen übertieften Thäler beschränkt denken; man muss, wie es thatsächlich für das Linth- und Walensee-Thal geschehen ist, zur Annahme von Grabenversenkungen greifen, welche genau dem Thalverlaufe folgten. Aber da wecken wir nicht bloss den Widerspruch jener Geologen, welche den Schichtbau des Gebirges genau untersucht haben, und welche solche Grabenversenkungen, die den Thälern folgten, durchaus nicht aufzufinden vermögen, sondern übersehen auch die Thatsache, welche auf einen erosiven Ursprung der Alpen-Thäler weisen. Rütimeyer

hat uns zuerst gelehrt, die zahlreichen Leisten an den Thalgehängen, die Abstufungen des Thalbodens in dieser Hinsicht zu verwerthen, Heim ist ihm gefolgt und hat einzelne Phasen in der Vertiefung des Rheins und Reuss-Thales auseinander gesondert. Wir können den Schweizer Forschern nicht in allen Einzelheiten ihrer Erklärung beipflichten, aber wir befolgen ihr Verfahren. Es ermöglicht uns, das normale Thalsystem wieder aufzufinden, aus welchem das übertiefte hervorgegangen ist.

Wir gehen hierbei vom nördlichen Vorlande der Alpen aus. Es stellt keineswegs, wie bisher vielfach angenommen, eine blosse miocäne Aufschüttungsfläche dar. Seine miocänen Ablagerungen haben verschiedene Schichtstörungen erlitten. Sie bilden zwischen Alpen und Jura eine langgedehnte, breite Schichtmulde und sind angesichts der Alpen in Falten gelegt. Diese Falten sind, wie man z. B. in der Gegend um Luzern, am Appenzeller Sporn und nördlich von Murnau in Ober-Bayern sieht, abradirt, ebenso wie die Oberfläche der grossen Miocänmulde. Es ist das nördliche Alpen-Vorland eine ausgedehnte Rumpffläche. Die Entstehung dieser Rumpffläche fällt in die Zeit nach der letzten Aufrichtung der Alpen und vor die grosse Eiszeit, da sich die ältesten Glacialschotter bereits über sie ausbreiten. Sie ist somit pliocän. Bei ihrer Bildung kann die Brandung nicht mitgewirkt haben, denn sie entstand erst lange nach dem Rückzuge der letzten Meeresbedeckung vom Fusse der Alpen. Sie kann nur als ein Werk der Alpenflüsse gedeutet werden, welche das Alpen-Vorland abebneten, als eine Peneplain im Sinne von William M. Davis. Als solche lehrt sie uns, dass vor der grossen Eiszeit der Fuss des Gebirges in der Schweiz rund 1000 m, im westlichen Ober-Bayern etwa 800—900 m, im östlichen Ober-Bayern 600 bis 700 m, in Ober-Österreich 500—600 m hoch gelegen gewesen war, dass ferner damals die Flüsse nicht in die Tiefe gruben und ihre Arbeit in Seiten-Erosion leisteten.

Während einer solchen Zeit kann auch in den Alpen keineswegs eine lebhafte Thalbildung geherrscht haben. Die Flüsse mussten damals auch hier mehr in die Breite als in die Tiefe arbeiten, und entsprechend der Rumpffläche vor dem Gebirge mussten auch in dessen Innern hochgelegene, breite Thalsohlen entstehen, deren Überreste wir zu finden erwarten müssen. Sie liegen uns in der That vor. Sie treten namentlich in den grossen Längsthälern in Gestalt von Hochböden entgegen. So im Inn-Thal, wo sie das Felsgerüste des bekannten Mittelgebirges bilden. So aber auch in den Querthälern, wo allerdings ihre Breite meist so zusammengeschrumpft ist, dass sie nur als Bodenleisten erscheinen. Man kann solche im Rhein-Thal

bis gegen Chur hin verfolgen, sie ziehen sich an der Reuss aufwärts; allenthalben zeigt sich, dass das am meisten ausgesprochene System dieser alten Thalböden die Rumpffläche des nördlichen Alpen-Vorlandes in die Alpen hinein fortsetzt und hier mit den hochgelegenen Sohlen der Nebenthäler verknüpft. Diese hochgelegenen Sohlen der Nebenthäler, von welchen die Flüsse in Kaskaden in die Hauptthäler herabspringen, erscheinen ebenso wie die Rumpffläche des Alpen-Vorlandes als Stücke voreiszeitlicher Thalsysteme, aus denen die heutigen dadurch hervorgegangen sind, dass vornehmlich die Hauptthälerstrecken vertieft wurden.

Soweit die Untersuchungen bisher reichen, lassen die noch vorhandenen Reste der voreiszeitlichen Thalsysteme keinen Schluss auf ein Rücksinken oder sonstige Deformationen der Alpen zu. Sie machen durchaus den Eindruck, als gehörten sie zu normalen Thalsystemen. Sie liegen im Innern des Gebirges durchweg höher als an dessen Rand und weisen auf ein Thalgefälle, das etwas grösser, als das der heutigen Hauptflüsse ist. Dabei erhöhen letztere, wie wir sahen, gegenwärtig ihre Betten und zwar im Innern des Gebirges mehr als am Rande. Sie streben also nach einem steileren Gefälle; ein solches entspricht also der Wirksamkeit der Hauptwasseradern des Gebirges mehr, als das gegenwärtige geringe. Das steilere Flussgefälle müssen wir für die Alpenflüsse als das normale, das in den meisten Hauptthälern herrschende als das den Wasserwirkungen unbequeme ansehen, und dieses unbequeme Gefälle ist nach der Pliocän-Epoche entstanden. Es sind gewisse Thäler bis unter das ihnen zukommende Gefälle während der grossen Eiszeit vertieft und übertieft.

Dabei spricht alles dafür, dass die Übertiefung auf Erosion beruht. Wenn wir die übertieften Thalstrecken im Einzelnen untersuchen, finden wir eine innige Beziehung zwischen Gesteinsbeschaffenheit und Thalform. Leicht zerstörbare Schichten sind ausgeräumt, festere sind stehen geblieben. Fassen wir die betreffenden Thäler im Grossen und Ganzen ins Auge, so fallen uns nicht selten an beiden Gehängen in grösseren Entfernungen alternirende Prallstellen auf, an welchen die Reste der alten Thalböden fehlen und namhafte Höhen unmittelbar und steil zur Thalsole abfallen. Das übertiefte Rhein-Thal unterhalb Sargans erscheint sogar bis zu einem gewissen Grade geschlängelt; da haben wir eine Prallstelle bei Vaduz (rechts), eine weitere bei Werdenberg (links). Nun folgt die von Rankweil (r), dann jene von Altstädten (l), schliesslich die von Dornbirn (r). Es ist ein Serpentinisieren in weit grösseren Verhältnissen, als wir es am Strom finden, entsprechend einer viel grösseren sich bewegenden und erodirenden Masse.

Wir entnehmen also den Eigenthümlichkeiten der übertieften Alpen-Thäler, dass sie durch eine sich lokal besonders stark entfaltende, von der gewöhnlichen Thalbildung abweichende Erosion aus normalen Thälern hervorgegangen sind. Über die Art dieser Erosion klärt uns die Verbreitung der übertieften Thäler auf. Sie finden sich nicht allenthalben in den Alpen; man darf daher nicht etwa von einem alpinen Typus der Thalbildung sprechen und ihre Bildung mit der Entstehung des grossen Hochgebirges in Beziehung bringen. Sie fehlen in dem Winkel zwischen Wien, Judenburg in Steiermark, Unterdrauburg in Kärnten und Cilli. Wir haben hier keine rückfälligen Thalstrecken, keinen Alpensee, keine Stufenmündungen mit Klammern oder Wasserfällen. Die zahlreichen Eisenhämmer des Gebirges nützen hier durch zahlreiche Stauanlagen das normale, ausgeglichene Thalgefälle aus. Während sonst die grösseren Alpenflüsse in weiten und breiten Querthälern das Gebirge verlassen, tritt die Mur hier in engem, gewundenen Thal aus den Alpen heraus, dem die breite Sohle und die weiten Ausblicke in der Thalrichtung, wie sie sonst vorkommen, wie sie z. B. das Rhein-Thal hat, fehlen. Koulissenartig schieben sich die Thalsporne hinter einander, jede weitere Umschau ist gehindert, so wie in den Thälern der deutschen Mittelgebirge. Der Thal-Querschnitt ist im Vergleich zu dem von Thälern gleich grosser Gebiete ausserordentlich eng, zehn Mal, ja zwanzig Mal kleiner. Man müsste die Sporne abschneiden, die Gehänge um Kilometer zurückrücken, die Sohle vertiefen, um aus dem Mur-Durchbruch oberhalb Graz ein Querthal von der Grösse des Rhein-Thales heraus zu schneiden. Ganz ähnlich verhält es sich mit der untersten Strecke des Drau-Thales. Es hat nicht, nach dem üblichen alpinen Maasse gerechnet, den ihm zukommenden Querschnitt. Dabei handelt es sich aber hier nicht etwa um jugendliche Thäler, die noch nicht Zeit gefunden haben, sich zu verbreitern. Speciell das Querthal der Mur ist sogar nachweislich sehr alt. Bei Graz greifen fluviatile miocäne Ablagerungen in ihm ein Stück weit ins Gebirge hinein, anzeigend, dass es bereits zu jener Zeit als Abflusskanal diente, als noch das *Mastodon angustidens* im Alpen-Vorlande lebte.

In dem Winkel zwischen Wien, Judenburg, Unterdrauburg und Cilli nun, in welchem die übertieften Thäler fehlen, mangeln auch die Spuren eiszeitlicher Gletscher; die gegentheiligen Angaben, wonach im steierischen Becken Glacialsuren vorliegen, beruhen auf einer Verwechslung pseudoglacialer Erscheinungen mit glacialen. Es beschränkt sich die Thalübertiefung in den Alpen allenthalben auf die Grenzen der alten Gletscher. Wir haben es mit einem zeitlichen und

räumlichen Zusammenfallen beider Phänome zu thun und müssen deswegen eine ursächliche Beziehung zwischen beiden annehmen. Die Übertiefung, die wir speciell in den grossen Hauptthälern der Alpen nachweisen, die aber auch in den innersten Trogthälern und zwar in noch viel deutlicherer Weise hervortritt, und die sich auch in den Karen der letzten Thalverzweigungen geltend macht, kann nach den mitgetheilten Beobachtungs-Thatsachen nur auf eine sehr bedeutende Erosion der eiszeitlichen Gletscher zurückgeführt werden. Diese Schlussfolgerung weist den Gletschern eine noch viel grössere Erosionsleistung zu, als die Theorie Ramsay's, wonach die eiszeitlichen Eisströme die Alpenseen erodirten. Denn die Alpenseen erfüllen nur einen Theil der übertieften Thäler, nämlich die rückfälligen Sohlenstrecken. Uns handelt es sich um die Entstehung der gesammten von Stufenmündungen umrahmten, nur stellenweise wannenförmig eingesenkten, übertieften Thäler.

Ich glaube hier nicht die physikalische Seite der Frage diskutieren zu sollen; über das Für und Wider der Glacial-Erosion ist schon genug geschrieben. Ich kann nur der Überzeugung Ausdruck geben, dass man auch dies Problem nicht durch Diskussionen, sondern nur durch Vermehrung des Beobachtungsschatzes lösen kann. Diese Beobachtungen müssen nothwendiger Weise gutentheils geomorphologischer Art sein, da wir nur aus den von den Gletschern hinterlassenen Formen eine Vorstellung von der Wirksamkeit von Massen gewinnen können, mit denen wir experimentell nie arbeiten können, die weit grösser sind, als diejenigen, welche wir heute in den Alpen vor uns sehen, und weit grösser waren, als bisher angenommen. Ergeben doch meine letzten Untersuchungen für die alten Eisströme des Inn- und Salzach-Thales Mächtigkeiten von 1500 m! Räumt man aber geomorphologischen Untersuchungen Bedeutung für die Entscheidung der Frage ein, dann darf man nicht mit Bedenken, dass sie zu unwahrscheinlichen Schlussfolgerungen führten, ihre Tragweite entkräften wollen, sondern halte das für wahrscheinlich, was sich aus Beobachtungen ergibt, wenn man sich auch nicht über jede Einzelheit sofort Rechnung zu geben vermag.

Die Dinge liegen in der Natur gewöhnlich complicirter, als man von vorn herein glaubt, und speciell die Formen der Erdoberfläche kommen in der Regel durch das Zusammenwirken verschiedener Kräfte zu Stande. So haben wir für die Ausbildung der übertieften Thäler in den Alpen zwar in erster Linie Eiswirkungen heranzuziehen, aber wir müssen aus dem Wechsel von Glacial- und Interglacialzeiten auf ein wiederholtes Alterniren von Gletscher- und Flussthätigkeit schliessen. Manche Einzelheit bei der Gestaltung der

übertieften Thäler wird hieraus erklärlich. Andere Einzelheiten mögen auf Krustenbewegungen, die in Folge der Eisbedeckung eintraten, zurückzuführen sein; doch kann diese Möglichkeit zur Zeit noch nicht durch Beobachtungen gestützt werden.

Wenn ich also eine physikalische Behandlung der Glacial-Erosion — wie das ganze Problem der Gletscherbewegung — vorerst noch für nicht vorgeschritten genug erachte, um darnach die Tragweite geomorphologischer Beobachtungs-Ergebnisse einzuschränken, so verlangt doch ein Argument geomorphologischer Art eine, wenn auch nur flüchtige, Behandlung. Wir haben uns in den letzten Jahren mehr und mehr gewöhnt, die Thäler als Werke des rinnenden Wassers anzusehen. Wie kommt es, kann man fragen, dass die Eisströme die von strömendem Wasser eingefurchten Thäler so erheblich umgestalteten. Liegt da nicht die Annahme einer principiellen Verschiedenheit fluviatiler und glacialer Erosion vor, die man bei der Ähnlichkeit der in Wirkung tretenden Agentien, die doch nur verschieden stark bewegliche Massen darstellen nicht voraussetzen dürfte?

Die Antwort hierauf ist leicht zu geben. Betrachten wir die Thäler, so sehen wir gewöhnlich ab vom Flussbett und machen mit unserer Betrachtung beim Flusspiegel halt. Dieser ist es, welcher die Gleichsinnigkeit des Gefälles der Thalsohlen am reinsten zum Ausdruck bringt und welcher, da sich nach ihm die Abspülung der Gehänge richtet, auch die Gleichsinnigkeit der Gehänge bestimmt. Wenn wir aber die Werke der alten Gletscher überschauen, da dringt unser Blick unter die Oberfläche der alten Eisströme ein und erfasst die Beschaffenheit des Gletscherbettes. Wollen wir die Wirksamkeit von Strömen flüssigen und gefrorenen Wassers mit einander vergleichen, so dürfen wir nicht die Thäler, sondern müssen die Flussbetten den Gletscherbetten an die Seite stellen. Sobald wir dies thun, überraschen uns gemeinsame Züge ihrer Gestaltung. Weder an der Sohle eines Flusses, noch an der eines alten Gletschers finden wir gleichsinniges Gefälle, hier Kolke und Schwellen, da Wannen und Riegel. Die regionale Korrelation der Glieder, wie sie uns in den Thalsystemen entgegentritt, fehlt im Flussbett ebenso wie im Gletscherbett. Die Breite und Tiefe eines Flusses sind nicht wie Breite und Tiefe eines Thales bestimmt durch sein Alter, sondern durch seine Grösse. Der grössere Fluss hat ein tieferes und breiteres Bett als kleine, und dessen Boden mündet oft erheblich höher als der seine. In den Flussbetten findet man ebenso Stufenmündungen, wie in den Gletscherbetten. Die Analogien sind, wie man sieht, vollkommen. Es ist kein qualitativer Unterschied zwischen Gletscher- und Fluss-thätigkeit vorhanden, sondern ein quantitativer. Die Formen der

Flussbetten, die Kolke, Schwellen und Mündungsstufen sind kleiner als die der Gletscherbetten, denn die Tiefe der Strömung ist eine geringere; aber sie sind im festen Gestein steilwandiger, denn die Strömung, die sie erzeugt, ist rascher. Erfüllen Gletscher ein Thalsystem, so wird dieses, was es nie in seiner Gesamtheit gewesen, zum Bett einer Strömung, und es muss durch dieselbe entsprechend seiner neuen Funktion, merklich umgestaltet werden.
