

EINIGE NEUERE ERGEBNISSE
DER
EISZEITFORSCHUNG
IN DEN ALPEN.

VORTRAG
GEHALTEN AUF DEM XIII. DEUTSCHEN GEOGRAPHENTAG
IN Breslau IM JAHR 1901

VON
PROF. DR. ALBRECHT PENCK
IN WIEN.

SONDER-ABDRUCK AUS: VERHANDLUNGEN DES XIII. DEUTSCHEN GEOGRAPHEN-
TAGES ZU Breslau, 1901.

[VERLAG VON DIETRICH REIMER (ERNST VOHSEN) IN BERLIN.]

BERLIN 1901.
DRUCK VON W. PORMETTER.

Die unmittelbare Veranlassung auf dem diesjährigen Geographentag über neuere Ergebnisse der Eiszeitforschung in den Alpen zu sprechen, ist durch den Ort der Tagung gegeben. Im Jahr 1887 hat die Sektion Breslau des Deutschen und Österreichischen Alpenvereins als Preisaufgabe die Erforschung der Vergletscherung der Österreichischen Alpenländer gestellt. Eine von mir und meinem Freund Ed. Brückner sowie A. Böhm ausgeführte Arbeit ist 1891 mit dem hohen ausgeschriebenen Preise gekrönt worden. Wenn sie auch den Bedingungen der Ausschreibung entsprochen hat, so hatten wir Autoren doch die Überzeugung, daß wir noch viel thun müßten, um die gestellte Aufgabe nach allen Richtungen zu lösen. Wir hatten uns bei unserer Untersuchung leiten lassen von den Erfahrungen, die wir auf der Nordseite der Ost-Alpen gewonnen hatten. Sie hatten sich im großen und ganzen bewährt. Eine Anschauung jedoch erwies sich als nicht stichhaltig, nämlich daß dem Anwachsen der Gletscher eine Schotterablagerung vorausgegangen sei. Die Glacial-schotter erschienen nach den neuen Untersuchungen mehr als Bildungen, deren Entstehung auf das jeweilige Gletscherende oder den Gletscherrand beschränkt ist. Diese Erkenntnis war von Tragweite für die Lehre von der glacialen Erosion. Die Annahme vom glacialen Ursprung der oberbayerischen Seen war unter anderem mit gestützt worden durch den Hinweis, daß jene Seen in Lücken der angenommenen Decken von Glacial-schottern liegen. Die neue Auffassung über deren Entstehung entzog somit der Lehre von der Glacial-Erosion ein Argument. Zugleich waren in der Schweiz Thatsachen bekannt geworden, welche die schon von Lyell angenommene Entstehung der dortigen Alpenseen durch Verbiegung von Thälern lebhaft zu stützen schienen. Heim zeigte, daß am Zürich-See die Schotter

älterem Vergletscherungen verbogen seien und dafs gleiches mit den dortigen Gehängeleisten geschehen sei. Er entwickelte die Lehre vom Rucksinken der Alpen nach erfolgter Faltung und stellte damit der Glacial-Erosion eine sehr plausible andere Theorie über den Ursprung der Alpenseen gegenüber, welche auch alsbald Anhänger gewonnen hat.

Bei einer solchen Sachlage erschien es geboten, den Gesamtschatz von Erfahrungen über die Entstehung unserer Seen einer neuerlichen Revision zu unterwerfen. Hatte sich in den österreichischen Alpen keine Erscheinung gefunden, welche im Sinne Heim's gedeutet werden konnte, so mußten die weiter westwärts gelegenen Glacialgebiete neuerlich durchsucht werden, und es ward Pflicht, unsere bis dahin auf die Ost-Alpen beschränkten Untersuchungen auf die West-Alpen auszudehnen. Dieser erweiterten Aufgabe haben nun Brückner und ich uns hingeben können. Sie hat uns fast durch ein Jahrzehnt beschäftigt, und jetzt sind wir dabei, anstatt der ursprünglichen Darstellung der Vergletscherung in den österreichischen Alpen eine Monographie der Alpen im Eiszeitalter in den Druck zu legen. Über einige der Hauptergebnisse dieser Monographie, welche dem Umfange nach etwa sechsmal so groß sein wird als unsere preisgekrönte Arbeit gestatte ich mir die folgenden kurzen Mitteilungen zu machen.

Das Problem, das in ersterer Linie unsere Arbeiten leitete, war die Frage, in wieweit Krustenbewegungen das Gebiet der alten Gletscher betroffen haben und inwieweit sie morphologisch bedeutsam werden. Für ihren Nachweis stehen im Binnenlande lediglich Beobachtungen in einer Richtung zu Gebote, nämlich der Verfolg von Flussterrassen. Haben diese nicht mehr die normale Gefällsentwicklung und kehren Störungen ihres Gefälles an homologen Stellen wieder, so müssen wir auf Verbiegungen oder Verwerfungen früherer Flußläufe schließen; gelingt es deren Alter als quartär zu erweisen, so ist an eiszeitlichen Krustenbewegungen nicht zu zweifeln. So einfach diese Argumentation ist, so schwierig der Nachweis von Gefällsstörungen in den Flussterrassen. Treten diese als Felsleisten entgegen, so hat man in der Regel nur einzelne, gewöhnlich wenig weit ausgedehnte Vorkommnisse, die mit einander zu verknüpfen vielfach ziemlich weiter Spielraum ist. Viel besser ist die Sachlage bei Schotterterrassen. Hier gelingt es allmählich die zusammengehörigen Glieder aufzufinden, falls sie nicht durch allzugroße Entfernungen von einander getrennt sind. Man kann die Höhenlage ihrer Oberfläche nach der ihrer Sohle kontrollieren und und so ihren Verlauf gelegentlich mit großer Genauigkeit feststellen. Dies ist von Heim und Aeppli am Zürich-See geschehen, das war auch

unsere Aufgabe in benachbarten Gebieten, namentlich am Boden-See, dessen Umgebung ich im Auftrag des K. K. Ministeriums für Kultus und Unterricht, zusammen mit Dr. A. E. Forster in Bezug auf die glacial-geologischen Bildungen einer näheren Erforschung unterworfen habe. Bereits 1891 konnte ausgesprochen werden, daß hier quartäre Schichtenstörungen vorliegen, und 1894 wurden solche auch an den Ufern des Würm-Sees der Glacialexkursion des Züricher Geologen-Kongresses gezeigt. Je weiter die einschlägigen Untersuchungen ausgedehnt wurden, desto absonderlicher erschien aber der Verlauf der anzunehmenden Störungslinien, bis sich endlich im Frühjahr 1897 herausstellte, daß der Deckenschotter Schwabens, der bis dahin als einheitliche Bildung angesehen worden war, dies nicht ist, und daß zwei verschiedene Deckenschotter, ein älterer und ein jüngerer unterschieden werden können, welche vielfach terrassenförmig nebeneinander gelagert sind. Einer großen Anzahl der gemutmaßten Dislokationslinien wurde durch diese Entdeckung die Basis entzogen, und wenn auch nach wie vor Beweise für quartäre Schichtstörungen im Vorlande der West-Alpen bestehen blieben, so waren doch alle diejenigen unhaltbar geworden, welche nicht bloß am Zürich-See, sondern, wie zunächst geschienen, auch am Boden-See auf ein Rücksinken der Alpen deuteten. Auf der andern Seite aber war die Lehre von einer bloß dreimaligen Vergletscherung der Alpen, welche bis dahin allenthalben als anwendbar gewesen war, erschüttert worden, und es hieß eine Vierzahl von Eiszeiten annehmen.

Sollte eine solche Annahme nicht bloß als bequemes Auskunftsmittel erscheinen, so mußte sie mehrorts erwiesen werden. Die neuen bayerischen Positionsblätter 1:25000 förderten diese Aufgabe im bayerischen Schwaben ganz ungemein; nicht minder geschah dies durch die Original-Aufnahmen 1:25000 des K. u. K. Militär-geographischen Instituts in Wien, welche in photographischen Kopien benutzt werden konnten, sowie durch die Karten des Siegfried-Atlas der Schweiz. Auf der gesamten Nordseite der Alpen, vom Rhein bis zur Traisen in Nieder-Österreich, sowie auf der Ostseite im Mur-Thal ist die viermalige Wiederholung der Vergletscherungen nunmehr festgestellt, weswegen man wohl mit Sicherheit von mindestens vier Vergletscherungen der Alpen sprechen darf. Die Spezial-Aufnahmen der Schottergebiete, die auf einer Fläche von über 20000 qkm ausgeführt worden sind, ergaben nebst dem Verfolge der vier fluvioglacialen, Schotter auch einen klaren Einblick in die Krustenbewegungen, welche in den Alpen im Laufe des Eiszeitalters erfahren haben. Nach unserem dermaligen Stande der Kenntnisse sind dieselben auf das westliche Vor-

land des Gebirges beschränkt. Hier hat sich eine flache Aufsattelung von 80 bis 100 m Höhe gebildet, welche sich vor am Fusse des Gebirges in nordöstlicher Richtung erstreckt. Eine zweite Aufsattelung findet sich am Rande der Rauhen Alb. Zwischen beiden Aufsattelungen liegt das Alpen-Vorland, ungestört; und, soweit sich überblicken läßt, haben auch die benachbarten Alpen keine gröfsere Dislokation erfahren. Keinenfalls haben sie sich zurückgesenkt, was in Anbetracht der grofsen Eislast, die sie bedeckt hat, nicht unwahrscheinlich gewesen wäre. Die subalpine Aufsattelung hat mit der Entstehung unserer Seen nichts gemein. Eine ganze Anzahl unserer Seen, so namentlich der Boden-See und Ammer-See, queren die Aufsattelung; diese Seen befinden sich gerade dort, wo sie nicht liegen sollten, wenn ihre Entstehung durch Krustenbewegungen erfolgt wäre. Der Zürich-See aber kann nach Brückner's und meinen Untersuchungen in Zukunft nicht mehr als beweisend für ein Rücksinken der Alpen angesehen werden. Die Schotter, welche dort scheinbar verbogen sind, gehören verschiedenen Niveaus an; die Erosions-Terrassen an seinem Ufer sind Rippungen durch glaciale Erosion. Wenn ferner Ule den Würm-See mit einem Rücksinken der Alpen in Verbindung gebracht hat, so ist dies nur auf die Autorität Heim's hin geschehen. Die Ablagerungen des Seegebietes, welche gerade hier der Annahme des Rücksinkens entgegenstehen, kennt Ule nicht; er verzeichnet sie nicht auf seiner geologischen Karte des Seengebietes, die auch sonst vielfach kein richtiges Bild von dessen geologischer Beschaffenheit giebt.

Während am Nordsaume der Alpen zwischen Rhein und österreichischer Traun die Terrassen fluvioglacialer Schotter, deren Verfolg die Lehre vom Rücksinken der Alpen gezeitigt hatte, stets vor dem Gebirge abbrechen, haben sie sich auf der Ostseite des Gebirges, wo die Vergletscherung unbedeutender war und in dessen Inneren stecken blieb, bis tief in dasselbe hinein verfolgen lassen, und zwar unter Verhältnissen, welche etwaige eiszeitliche Krustenbewegungen ausschlofsen. Im Augenblick, wo die für den Westen gemutmafste Rücksenkung der West-Alpen sich als unhaltbar erwiesen hatte, gewannen diese Ablagerungen des Ostens Bedeutung für das ganze Gebirge. Sie hatten ermöglicht festzustellen, welche Summe von Veränderungen der nicht vergletschert gewesene Teil der Alpen während des Eiszeitalters erfahren hat: es zeigte sich, dafs seine Thäler allenthalben vertieft worden sind, jedoch um verhältnismäfsig unbedeutende Beträge. Zugleich ergaben sich hier Anhaltspunkte für ihre präglaciale Gestaltung: die ältesten Glacialschotter, die im Alpen-Vorlande deckenförmig ausgebreitet sind, lagern hier auf sehr breiten Hochboden auf.

Es waren die Alpenthaler hier vor der Eiszeit ungemein breitsohlig und nicht so tief eingeschnitten wie heute, das Vorland bildete auf weite Strecken ebene Flächen; sowohl im Innern des Gebirges wie auch vor demselben arbeiteten die Flüsse nicht mehr in die Tiefe, sondern in die Breite, es befanden sich Alpen und Vorland im Entwicklungsstadium der Thalreife im Sinne von Davis, es herrschte normales Thal- und Gehangegefalle. Dieses Stadium der Thalreife ist so weit, als die alten Gletscher gereicht haben, gestört, aber es finden sich Rudimente von ihm noch durch das ganze Gebirge; sie wurden erst verstanden, nachdem sich die Thalgeschichte in den östlichen Alpenthalern, im Enns- und Mur-Thal klar gestellt hatte. Wir finden nicht bloß an den Flanken der Haupthaler mancherorts ausgedehnte Felsterrassen, sondern namentlich stellen die Sohlen der Nebenthaler Bodenstucke eines älteren Thalsystems dar, in welches, soweit starke Eisströme gereicht haben, tiefe Furchen eingeschnitten sind. Diese Furchen enden dort, wo die Gletscher endeten, und bilden hier eine von der Struktur des Landes und seiner Gesteinsbeschaffenheit ganz unabhängige, sehr bezeichnende Oberflächenform, das Zungenbecken, oder die Centraldepression. Die Flüsse des Gebirges sind heute allenthalben thätig, die durch diese Einfurchungen bedingte ubertiefung der Hauptgletscherthaler wieder zu beiseitigen. Dies schlieft aus, dafß sie ein Wasserwerk ist, und da sie sich räumlich auf die alten Gletscherbetten beschränkt und zeitlich mit dem Eiszeitalter zusammenfällt, dabei keinesfalls durch tektonische Vorgänge erklärt werden kann, so blieb nur die Annahme, dafß sie ein Werk energischer Glacial-Erosion sei.

Diese Annahme erwies sich für zahlreiche Fälle als ungemein zutreffend. In anderen Fällen stellten sich ihrer Anwendung aber Bedenken entgegen. In den übertiefen Thälern finden sich stellenweise mächtige Glacialablagerungen, so namentlich im Inn-Thal: sein bei Innsbruck über 800 m Höhe ansteigendes felsiges Mittelgebirge ist ein Rest des alten praglacialen Thalbodens, in den der heutige Thalgrund über 200 m eingetieft ist. Während nun einerseits diese Eintiefung der glacialen Erosion zugeschrieben werden muft, fanden sich in ihr die 300—400 m mächtige Aufschuttungen von Geröll und Moränen, die auf eine sehr bedeutende glaciale Akkumulation deuten, welche letztere nach früheren Anschauungen beim Eintritte der letzten Vergletscherung eingesetzt hat. Diese beiden Erscheinungen waren unvereinbar miteinander, und um den Widerspruch zu lösen, war eine eingehende neuerliche Untersuchung der Innthalterrasse nötig. Sie führte schlieftlich mit voller Sicherheit zu dem Ergebnis, dafß die

mächtigen Schotter- und Moränenmassen des Inn-Thales nicht, wie bisher angenommen, im Laufe der letzten Vergletscherung angehäuft wurden, sondern das Werk eines späteren Gletschervorstofses sind. Er lagerte seine Moränen und Schotter dort ab, wo die letzte Vergletscherung erodiert hatte, diese wiederum hat ihre Endmoränen mehrfach in die Zungenbecken der vorhergehenden Vergletscherungen hinein gebaut, sodass wir vielfach an ein und derselben Stelle die Wirkungen glacialer Erosion und Akkumulation unmittelbar neben einander sehen. Sie wurden nicht gleichzeitig, sondern nacheinander ausgeübt.

Eine solche Auffassung ist eigentlich selbstverständlich; aber sie erheischt besondere Beweise, solange daran gezweifelt wird, dass die Gletscher erodieren können. Wir begnügten uns daher auch nicht mit der bloßen Erkenntnis, dass die Innthalterrasse einem auf die letzte Vergletscherung folgenden Vorstofs angehöre, sondern suchten diesen auch noch anderweitig zu erweisen. Dies ist im Salzach-, Traun- und Isar-Gebiet gelungen; es mehren sich die Anzeichen, dass er von Du Pasquier bereits in der Schweiz gekannt gewesen ist, und dass der Vorstofs des Aare-Gletschers, den Balkzer kennen gelernt hat, ihm entspricht. Allenthalben hat sich dasselbe Verhältnis dieses Vorstofses zur letzten Vergletscherung herausgestellt. Er setzt eine um 200 m höhere Lage der Schneegrenze voraus, und es lässt sich zeigen, dass ihm eine Zeit mit einer erheblich höheren Schneegrenze vorausgegangen ist. Die Auffindung dieses einen postglacialen Vorstofses hat den Nachweis anderer zur Folge gehabt, wonach sich ein neues Bild von der Klimarkurve des Eiszeitalters ergibt.

Wie groß auch die Wirkungen der glacialen Erosion nach den neueren Untersuchungen erscheinen, so haben sie doch ganz bestimmte Grenzen. Solche müssen erwartet werden; denn wenn auch das Eis an seiner Sohle sich bergan zu bewegen vermag, so ist dies nur in bestimmtem Mafß denkbar. So weit unsere Erfahrungen reichen, können immer nur einzelne Schichten des Eises bergan fließen; seine gesammte Masse aber bewegt sich in allen aufeinander folgenden Querschnitten bergab. Eine Linie, welche deren Schwerpunkte miteinander verbindet, fällt in ihrer ganzen Erstreckung kontinuierlich und, wie es scheint, ziemlich gleichmäßig. Seine bodengestaltende Thätigkeit wird allem Anscheine nach geregelt von der Tendenz, zu einer möglichst stetigen Schwerpunktskurve zu gelangen. Sie möchten wir mit der normalen Gefällskurve der Flüsse vergleichen; sie hat zur Voraussetzung, dass eine enge Korrelation zwischen Oberflächen- und Sohlengefälle des Eises, sowie seinem Einzugsgebiet und seinen Querschnitten stattfindet. Von diesem Gesichts-

punkt aus wird uns der regelmäfsig wiederkehrende Bau der Gletscherthäler leicht verständlich. Sie beginnen als Stufenthäler. Regelmäfsig findet sich eine Stufe dort, wo zwei Thäler in einander münden; wo also die Eismassen im vereinigten Thal weit gröfser sind als die der einzelnen Wurzelthäler. Je mehr nun der Unterschied zwischen Hauptthal und Nebenthälern zur Geltung kommt, desto mehr ist jenes gegenüber diesen vertieft. Nähern wir uns dann der Zunge, so beginnt das Gefälle der übertieften Sohle sich zu mindern, ja bis es vielfach negativ wird, also ansteigt; denn sie mufs am Gletscherende mit der Eisoberfläche konvergieren. Es schliefst das Gletscherbett in der Regel beckenförmig, oft wannenförmig ab. Die wassererfüllten Wannen, die Alpenseen sind es bisher gewesen, an welche die Erörterungen über die bodengestaltende Thätigkeit angeknüpft haben. Sie sind nur ein ganz kleiner Teil von deren Wirkung. Da aber letztere nicht blofs in Erosion, sondern am Gletscherende auch in Akkumulation besteht, so sehen wir den Abschluss der glacialen Zungenbecken fast allenthalben auch teilweise durch Moränen und Schotter bewirkt, welche dann und wann so mächtig auftreten, dafs sie den Eindruck erwecken, die Seewanne sei nichts anderes als ein abgedämmtes Thal. So erklärt sich die Ansicht Ule's über die Entstehung des Würm-Sees. Am unteren Ende des Seethales liegen Endmoränen und Schotter. Sie scheinen die Annahme Ule's zu stützen, der See sei ein im wesentlichen durch sie abgesperartes fluviatiles Erosionsthal. Die nähere Untersuchung der Umgebung des Sees, die von Ule, wie schon erwähnt, nicht in entsprechender Weise vorgenommen worden ist, vergewissert jedoch, dafs eine solche Annahme nicht zutrifft. Nur die obersten Wasserschichten werden durch glaciäre Ablagerungen gestaut, ihre grofse Masse ist aber eingesenkt in eine Erosionsform, die als Wanne von riesiger Ausdehnung, kein Werk des rinnenden Wassers sein kann. Die durch Ule's verdienstvolle Lotungen festgestellten Terrassierungen der Wannenflanken können keinen Grund bilden, die Entstehung des Sees nicht der Gletscher-Erosion zuzuschreiben; es sind ebensolche Ufermoränen, die das sich zurückziehende Eis hier, wie sonst an den Flanken des Seethales, zurückgelassen hat.

Der geschilderte Grundtypus vom Bau der Gletscherthäler gilt ebenso für die grofsen Hauptthäler, aus denen sich das Eis in das Vorland ergofs, wie für kleinere Thäler und blofse Gehängemulden, in denen kleine Hängegletscher lagen. Zwischen übertieften Thälern und Karen ist nur ein gradueller Unterschied vorhanden; jene sind glacial umgestaltete Thäler, diese glacial umgestaltete Gehänge, bei denen es wie allenthalben dort, wo die Eisbewegung von einer Lehne

oder Rückenseite ausging, zur Wandbildung kam. Die Karwand ist das morphologische Seitenstück zur Randkluft des Gletschers.

Das sind in großen Umrissen die neueren, auf die Morphologie der Erdoberfläche Bezug nehmenden Ergebnisse von Brückner's und meinen Untersuchungen über die Eiszeit der Alpen. Die Kürze der zu Gebote stehenden Zeit erlaubte nicht, in eine Beweisführung durch Hinweis auf das Beobachtungsmaterial einzutreten. Diese soll in unserm im Druck befindlichen Werk über die Alpen im Eiszeitalter erfolgen, dessen erste Lieferung noch in diesem Jahr bei Chr. Herm. Tauchnitz erscheinen wird. Ich habe die einzelnen Ergebnisse nicht systematisch nach bestimmten Gesichtspunkten gruppiert, sondern sie so zur Sprache gebracht, wie sie sich nach und nach herausgestellt haben. Ich will damit bekunden, daß wir nicht, von vorgefaßten Meinungen ausgehend, gewisse Dinge beweisen wollten, sondern die Probleme, die sich nach und nach herausstellten, der jeweiligen Sachlage nach zu lösen trachteten. Wir hielten es nicht für rätlich, die dem jeweiligen Stande unserer Arbeiten entsprechenden Ergebnisse sogleich an die Öffentlichkeit zu bringen, da die Erfahrung lehrt, daß die Fortschritte der Erkenntnis vielfach gehemmt werden durch allzurasche Veröffentlichungen, welche die Autoren nur zu leicht zwingt, an einer unhaltbaren Ansicht festzuhalten und derselben dadurch zu lange Raum im Gebäude der Wissenschaft gewährt. Aus vollem Herzen danken wir der Sektion Breslau des Alpenvereins, daß sie uns Muße gewährte, unsere Ergebnisse allmählich reifen zu lassen, und uns nicht mit der Drucklegung unserer Arbeit drängte. Sie bietet heute etwas ganz anderes als vor zehn Jahren. Damals enthielt sie die Beschreibung der vielfach dürftigen Gletscherspuren in den österreichischen Alpen. Vergleichende Untersuchungen haben seither erkennen lassen, daß die Bedeutung jener Alpen für die Eiszeitforschung weniger in ihren nicht allzubedeutenden Gletscherspuren besteht, als in dem häufig wiederkehrenden Mangel an solchen. Sie lehren uns, wie die Alpen aussehen, die nicht vergletschert gewesen sind, während in den Schweizer Alpen, von wo die Eiszeitforschung ausgegangen ist, man immer nur mit einem gänzlich vergletschert gewesenen Gebirge zu thun hat, und viele Dinge deshalb für normal angesehen hat. die in Wirklichkeit mit seiner glacialen Entwicklungsgeschichte zu thun haben. Hierüber konnte uns erst ein vergleichendes Studium Aufschluß geben, und der Sektion Breslau gebührt das Verdienst, es angeregt zu haben.
