

VORTRÄGE

des

Vereines zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse in Wien.

XLII. Jahrgang. — Heft 6.

Der Bodensee.



Vortrag, gehalten den 27. November 1901

von

Albrecht Penck.

(Mit einer Karte.)

Wien, 1902.

Selbstverlag des Vereines zur Verbreitung naturwissenschaftlicher
Kenntnisse.

Druck von Adolf Holzhausen in Wien.

Seen und Berge erscheinen uns in den Alpen so enge verknüpft, dass wir die einen uns nicht ohne die anderen denken. Wir können uns die Alpen nicht vorstellen ohne die herrlichen Flächen ihrer bald weitgedehnten, bald kleinen Seen, deren glitzerndes Blau und Grün die erhabenen Gipfel der Berge spiegelt. Unwillkürlich fassen wir den Gedanken, dass die stolzen Höhen und die wasserbedeckten Tiefen zusammengehören. Dieser Gedanke hat lange Zeit die Vorstellungen der Forscher beherrscht, welche die Entstehung des Gebirges zu ergründen trachteten. Durch Jahrzehnte war die Meinung herrschend, dass dieselben Kräfte, welche die Alpen emporgehoben, auch die Wannsen der Alpenseen eingesenkt hätten. Es hat jahrelanger Arbeit namentlich der Schweizer Geologen gekostet, bis mit dieser Vorstellung gebrochen werden konnte und man erkannte, dass die Alpen, so wie sie heute dastehen, nicht das unmittelbare Ergebnis häufiger Bewegungen der Erdkruste sind, sondern die Ruinen ehemals weit bedeutenderer Erhebungen, in welche der Zahn der Zeit tiefe Furchen gegraben hat: die Thäler. Allmählich hat sich dann auch die Vorstellung Bahn gebrochen, dass die großen Seen, welche

sich in den Thälern des Gebirges erstrecken, veränderte Thalstücke sind. Fraglich ist nur immer gewesen, worin die Veränderung besteht. Während die einen: Lyell, Rütimeyer, Heim und Forel der Ansicht huldigen, dass durch eine Nachwirkung der Gebirgserhebung die Thäler gleichsam verbogen worden sind, so dass sich in ihren einwärts gekrümmten Sohlen nunmehr die Wässer ansammeln können, erwuchs namentlich bei englischen Forschern der Gedanke, dass die mächtigen eiszeitlichen Gletscher, die die Thäler des Gebirges erfüllten, den Boden derselben weiter ausgefurcht hätten: das ist Ramsays Lehre von dem glacialen Ursprunge unserer Alpenseen.

Die Erörterung beider Ansichten hat die Forschung ungemein belebt. Je mehr Seen genauer studiert wurden, desto mehr Gesichtspunkte boten sich der Erörterung. War es mir 1882 geglückt, Argumente für das jugendliche, eiszeitliche Alter der oberbayerischen Seen zu finden, so konnte alsbald der Schöpfer der neuen morphologischen Vorstellungen von der Ausgestaltung der Alpen, Albert Heim, am Zürichersee Thatsachen kennen lehren, die für eine jugendliche Bewegung der Erdkruste im Bereiche der Thäler, für deren Einbiegung sprechen. 1885 konnte es darnach scheinen, als ob die Seen Oberbayerns unter anderen Gesichtspunkten betrachtet werden müssten als die weit größeren der Schweiz.

Eine derartige Auffassung hat nichts Befremdliches. Nichts schadet ja der Wissenschaft mehr als vorzeitige Verallgemeinerung der Schlussfolgerungen. Mehr und

mehr stellt sich heraus, dass verschiedene, dem Anscheine nach ganz gleiche Erscheinungen auf die verschiedensten Ursachen zurückzuführen sind. Wenn nun aber die deutschen und schweizerischen Alpenseen unter wesentlich verschiedenen Gesichtspunkten zu betrachten waren, so musste sich unser Augenmerk besonders auf jenen See lenken, welcher mit den deutschen Alpenseen die Lage vor dem Gebirge, mit den schweizerischen hingegen die großen Dimensionen theilt: nämlich den Bodensee. Eine nähere Untersuchung des weiten Landbeckens, in welchem der See liegt, musste daher wichtige Aufschlüsse versprechen über die Entstehung der Alpenseen überhaupt, und dies umsomehr, als wir hier eine Reihe ausgezeichneter Voruntersuchungen besitzen. Frühzeitig schon, noch bevor die Lehre von der eiszeitlichen Vergletscherung der Alpen allgemeinere Annahme gefunden hatte, sind vom Seegebiete Bayerns und Badens geologische Karten aufgenommen worden. Auch in Österreich ist der angrenzende Bregenzerwald schon vor vielen Jahren in den großen Zügen seines Aufbaues durch eine Übersichtsaufnahme geologisch erkannt worden. Gebürt also Bayern, Baden und Österreich das Verdienst, die geologische Erforschung des Seegebietes zuerst systematisch begonnen zu haben, so hat man sie in Württemberg zuerst im großen Stile durchgeführt, und wir besitzen dank der Thätigkeit württembergischer Geologen: nämlich von Bach und Probst, O. Fraas, Quenstedt und dem ausgezeichneten Beobachter und Autodidakten Hildenbrand eine geognostische Karte von nahezu dem

gesamten Lande nördlich des Bodensees. Auf dieser Karte haben die glacialen Bildungen eine eingehende Darstellung gefunden, und es ist hier zum erstenmale zwischen den Spuren früherer und späterer Vergletscherung, zwischen den alten und jungen Moränen unterschieden. In der Schweiz endlich ist das den See begrenzende Gelände durch einen ganz vorzüglichen Beobachter, A. Gutzwiller, auf das peinlichste untersucht worden. Unter solchen Umständen musste es eine verlockende Aufgabe sein, durch eine Begehung des Gebietes der fünf Uferstaaten die bisher erzielten Beobachtungsergebnisse zusammenzuarbeiten und zu erweitern, um so zu einem Gesamtbilde über die geologische Zusammensetzung der Umgebung des Sees und damit zu gesicherten Vorstellungen über dessen Entstehung zu gelangen.

Die Gelegenheit zur Ausführung einer derartigen Aufgabe bot sich mir, als mich das hohe k. k. Ministerium für Cultus und Unterricht beauftragte, im Anschlusse an die Herstellung einer internationalen Bodenseekarte eine genaue Untersuchung der Geologie des Seegebietes vorzunehmen, die mir zugleich Gelegenheit bieten sollte, einige meiner Schüler in glaciogeologischen Forschungen zu schulen. 1891 begann ich die Arbeit. Es zeigte sich, dass sie weit schwieriger sei, als nach dem Reichthum der Vorarbeiten erwartet werden konnte, und es stellte sich die Nothwendigkeit heraus, größere Partien des Seegebietes einer neuen geologischen Specialuntersuchung zu unterwerfen. Ferner erwies sich als nöthig, aus dem ursprünglich ins Auge gefassten Gebiete, dem Dreiecke

zwischen Bregenz, Ulm und Schaffhausen, weiter hinauszugreifen, um einerseits in Bayerisch-Schwaben, anderseits rheinaufwärts gegen Chur und rheinabwärts bis Basel das Gebiet näher kennen zu lernen. So schob sich denn die Vollendung der Untersuchung auf Jahre hinaus. Während derselben war der jetzige Assistent am geographischen Institute an der Universität Wien, Herr Dr. A. E. Forster, mein getreuer Mitarbeiter, und es ist namentlich auch seiner Thätigkeit zu danken, wenn nunmehr auf Specialuntersuchungen, die sich auf über mehr denn 10.000km^2 Fläche vertheilen, zurückgeblickt werden kann. Die Ergebnisse sei mir gestattet, in Folgendem darzustellen. Ich bezeichne sie als provisorisch, da die endgiltige Ausarbeitung aller Beobachtungen noch nicht vollendet ist. Doch kann mit Bestimmtheit ausgesprochen werden, dass bei ihrer eingehenden Discussion die großen Ergebnisse nicht berührt werden und nur diese oder jene Zahlenangabe eine genauere Präcisierung erfahren dürfte. Ich kann diese provisorische Darlegung meiner Ergebnisse nicht erstatten, ohne zugleich meinem warm empfundenen Danke Ausdruck zu geben für die mannigfache Förderung, welche die Arbeit besonders in Württemberg gefunden hat. Das königl. statistische Landesamt in Stuttgart hat ihr sein Wohlwollen zugewendet, vor allem aber hat sie freundlichste Unterstützung seitens der Bewohner Oberschwabens gefunden. Ich kann hier nicht den Namen jedes einzelnen nennen, der uns herzlich entgegenkam; ich nenne einen für alle, dendes Präsidenten des Vereines für Geschichte des Bodensees, Dr. Eberhard Graf Zeppelin.

Der Bodensee erstreckt sich quer durch das ganze Alpenvorland. Seine Wasser bespülen im Osten den Fuß der äußersten Molasseketten der Alpen und reichen im Westen nahe heran an den weißen Jura des Randen und der Rauhen Alb. Sein Spiegel hat die bekannte gabelförmige Gestalt: der Obersee ist wie ein Griff, an dem die Zinken des Überlinger- und Untersees sitzen, von denen die letztere sich abermals in den Zellersee und den früher, bis Anfang des 19. Jahrhunderts „Bernangersee“ genannten Rheinauslass theilt. Diese Form des Seeumrisses verschwindet bereits in verhältnismäßig geringer Tiefe, wie die internationale Bodenseekarte deutlich erkennen lässt. Die Grundgestalt der von Wasser erfüllten Hohlform, der Wanne des Sees, ist eine nordwestlich verlaufende, 200—252 *m* tiefe Furche. Ihr Südostende ist durch das große Delta des Rheines verschüttet, das bis unfern der Argenmündung reicht. Hier setzt sie mit 3 *km* Breite ein, ihr Boden ist fast ganz eben, ihre Seitenwände steigen steil mit Böschungen von 15—20° bis zu 100—150 *m* Tiefe an. Sie allmählich auf 1.5 *km* verschmälernd, reicht sie bis in die Nähe von Meersburg, dann hebt sich der Seeboden mit sanftem Anstieg auf fast 100 *m* herauf, um sich dann wieder im Überlingersee auf 147 *m* herabzusenken. Dieser liegt in der Fortsetzung der großen Tiefenfurche des Bodensees, seine steilen Wandungen setzen ihre Flanken über Land fort. Nach dem Untersee hin stülpt sich diese Furche nicht aus; die Konstanzer Bucht gehört dem seichteren See Grunde an, in den die Furche eingeschnitten erscheint.

Die Umgebung des Sees verräth in keiner Weise das Vorhandensein einer solch einförmigen, ungegliederten Furche in seiner Mitte. Der See liegt mitten in einem weiten Becken, das in seiner Gliederung unverkennbare Beziehungen zu ihm hat. Es wird von breiten Tiefenlinien durchsetzt, die nach dem See hinlaufen. Die eine ist die Salemer Niederung, die zweite das Schussenthal, eine dritte ist im Leiblachthale angedeutet, eine vierte zeigt der Eisenbahn von Romanshorn nach Zürich den Weg zur Thur. Würde ein Sinken des 395 *m* hoch gelegenen Seespiegels um 100 *m* unseren gabelförmigen See in eine lange, schmale Rinne verwandeln, so würde er bei einem Ansteigen des Wassers um den gleichen Betrag noch vier weitere Zinken gewinnen, die nach Nordosten bis Südwesten von ihm ausstrahlen würden, sein Grundriss würde die Gestalt einer Hand mit sechs ausgespannten Fingern annehmen, wenn nicht die drei westlichen Finger westlich vom heutigen See innig miteinander verwachsen würden.

Eine derartige Anordnung weicht gründlich ab von der, die wir bei der gewöhnlichen Thalentwicklung am Fuße eines Gebirges zu erwarten haben. Dort, wo der Fluss aus höherem Land in tieferes übertritt, wird er immer gern geneigt sein, seine reiche Geröllfracht niederzulegen, so wie es die Wildbäche thun, die vom Gehänge eines Thales herabkommen und dessen Sohle erreichen. Wir sollten daher einen flachen Schuttkegel am Austritte des Rheines aus den Alpen antreffen, statt dessen finden wir hier ein weites Becken mit wannenförmiger Einsen-

kung in der Mitte, und während die Spitze eines solchen flachen Schuttkegels der Ausstrahlungspunkt für zahlreiche kleinere Gerinne ist, die auf ihm neben dem Flusse herablaufen, der ihn aufschüttete, so sehen wir im Bodenseegebiete aus $1\frac{1}{2}$ Quadrant die Wasser dem Rheine entgegenströmen; Leiblach, Argen, Schussen, Stockach und Radolfzeller Ache, die Achen von Romanshorn, die Steinach von St. Gallen und die Goldach von Rorschach — sie alle laufen direct auf die Rheinmündung in den Bodensee hin; dies ist kein Ausstrahlungs-, sondern ein Sammelpunkt für Gewässer. — Das Gegentheil von dem, was man erwarten möchte, findet statt.

Gerade aber diese inverse Beziehung zwischen Erwartung und Wirklichkeit hilft leicht eine Hypothese aufbauen.

Wenn eine muldenförmige Senkung des Landes die sanft abfallenden Thalböden wannenförmig einbiegen kann, so kann sie auch einen flachen Kegel in einen Trichter verwandeln, sodass die Rinnen, die einst von dessen Spitze weg liefen, sich nun auf die Trichtermitte hin richten. Eine örtliche Senkung gerade am Austritte des Rheinthaales könnte die ganze eigenartige Anordnung der Gewässer dahier und die Entstehung des Bodensees erklären.

Wir hätten eine ähnliche Einbiegung anzunehmen wie Heim für den Zürichsee, wenn wir auch andere theoretische Voraussetzungen für sie zu machen hätten. Ganz im Vorlande der Alpen gelegen, kann der Bodensee nicht auf ein Zurücksinken der Alpen zurückgeführt werden,

welches der Zusammenstauung der Alpen gefolgt ist. Wohl aber könnte eine solche Senkung anders erklärt werden. Erinnern wir uns nur daran, dass die ganze Seegegend vom eiszeitlichen Rheingletscher bedeckt gewesen ist. Seine Endmoränen bilden, wie die württembergischen Geologen gelehrt haben, die große europäische Wasserscheide, welche die Zuflüsse des Rheines von denen der Donau trennt. Sie umspannen das Bodenseegebiet in Gestalt eines $\frac{3}{8}$ Kreisbogens, der in fast regelmäßigen Krümmungen von Schaffhausen über Engen, Sigmaringen und Biberach auf Memmingen läuft. 1200 *m* hoch stand das Eis beim Austritte aus den Alpen, auf 700 *m* Höhe stieg es am Abfalle des gegenüberliegenden Juragebirges an; mehr als 1000 *m* Höhe wird es daher über der See mitte erreicht haben, diese trug also eine Last von 750 *m* Eis, und noch größer war die am oberen verschütteten Seeende. Sollte eine so stattliche Last von 700 Tonnen auf dem Quadratmeter nicht die Erdoberfläche eindrücken und eine Senkung hervorrufen können, welche den See erklären würde?

Es wäre ein Kreisschluss, wenn man das Vorhandensein einer solchen Senkung durch den See, diesen aber durch jene erklären wollte, und so erwuchs denn die Aufgabe, nach Argumenten zu suchen, welche sie unzweifelhaft machten. Dieses Bestreben leitete den Gang der Untersuchung. Sie fasste vor allem die Ablagerungen ins Auge, welche jugendliche Bewegungen der Erdkruste im Seegebiete erweisen konnten. Die Molasseschichten des Alpenvorlandes stellten sich in dieser

Hinsicht als unverwendbar heraus. Sie haben zwar offenbar Schichtstörungen erlitten, doch sind dieselben sichtlich viel älter als der See. Darum richtete sich der Blick auf die Quartärablagerungen, die in stattlicher Mächtigkeit über das Gelände des weiten Seebeckens gebreitet sind. Sofern sie als Moränen entwickelt sind, kommen sie allerdings für den angedeuteten Zweck nicht in Betracht; denn Moränen können in den verschiedensten Höhen nebeneinander abgelagert werden, und wenn man hier die Moränen hoch, dort niedrig antrifft, darf man keineswegs schließen, dass Störungen ihrer Lagerung stattgefunden hätten. Anders die Schotter der Flüsse, welche dem alten Gletscher entströmten. Jeder Fluss fließt abwärts, und wenn er dabei Schotter anhäuft, so bildet dieser geneigte Felder. Wenn sich nun diese irgendwo gegenwärtig in entgegengesetzter Richtung senken, als der Fluss geflossen, so haben sie zweifellos eine Schichtstörung erfahren. Es wurden also die Höhenlagen des alten Gletscherflussgerölles insbesondere in Oberschwaben einer genauen Untersuchung unterworfen, wasrecht zeitraubend war, da die württembergischen Karten dieses Gebietes zu den älteren gehören und in ihrer Geländedarstellung noch nicht die Genauigkeit aufweisen, welche später erreicht worden ist. Es zeigte sich, dass die Lagerung der Schotter nicht die erwartete Regelmäßigkeit aufwies; namentlich fand sich, dass das den Alpen am nächsten gelegene Vorkommnis des älteren Gletscherbachgerölles weniger hoch gelegen sei als die weiter nördlich befindlichen, und das schien sehr zu Gunsten einer Einsenkung

des Bodenseegebietes zu sprechen. Aber der weitere Verfolg der Frage ließ bald erkennen, dass sie verwickelter ist, als auf den ersten Blick schien.

Bereits gelegentlich der geologischen Aufnahme Oberschwabens haben die württembergischen Geologen erkannt, dass hier verschieden alte Moränen vorkommen, die Alt- und die Jungmoräne. Die Richtigkeit ihrer Folgerungen hat sich seither allenthalben im deutschen Alpenvorlande herausgestellt. Nur hat sich bald gezeigt, dass man es nicht bloß mit zwei verschiedenen Vergletscherungen des Bodenseegebietes, entsprechend der Alt- und der Jungmoräne, zu thun hat, sondern dass deren mindestens drei zu unterscheiden seien. Jede derselben entsandte mächtige Flüsse der Donau zu, jedoch jede spätere in tieferem Niveau als die frühere, da die Flüsse in den Zwischenzeiten ihre Thäler allmählich vertieften. Das Geröll der ältesten Vergletscherung war es, das die erwähnte Unregelmäßigkeit seiner Lagerung aufwies, woraus auf ein Einsinken der Bodenseegegend geschlossen werden konnte. Sie wurden daher mit ganz besonderer Aufmerksamkeit weiter verfolgt, was namentlich seitens des Herrn Dr. Forster mit hingebendem Fleiße geschah. Aber die Versuche, die Störungen näher festzustellen, führten zu Zweifeln, die eine Ausdehnung der Untersuchungen östlich der Iller in Bayern anregten, als für dieses Gebiet neue, ganz ausgezeichnete Karten erschienen waren. Da zeigte sich nun sehr bald, dass man es nicht mit den Unregelmäßigkeiten der Lagerung ein und desselben Gerölles zu thun habe, sondern mit zwei ver-

schieden alten, daher verschieden hoch gelegenen Schotterablagerungen. Daraus ergab sich, dass das Bodenseebecken nicht bloß drei, sondern sogar vier verschiedene Vergletscherungen erlitten hat, wie ich in meinem Vortrage am 14. December 1898 ausgeführt habe. Wohl hat die weitere Untersuchung schließlich feststellen können, dass die Schotterfelder der beiden ältesten Vergletscherungen nicht mehr völlig ungestört daliegen, sondern ganz flache Wellen bilden, aber das einzige Argument, das bei mehrjährigen Untersuchungen für ein Einsinken der Bodenseegegend entdeckt worden war, war gefallen.

Allerdings könnte man sagen, dass das nicht gerade auffällig sei. Die Gletscherflüsse flossen naturgemäß außerhalb der Grenzen der alten Vereisungen, und wenn diese durch ihre Last das Seebecken eindrückten, so thaten sie das eben an Stellen, wo Gletscherflüsse nicht vorhanden waren, also auch nicht Geröll ablagern konnten. Allein jene uralte Vergletscherung, deren Geröll näher verfolgt worden ist, reichte erheblich weniger weit als die späteren, und der See erstreckt sich in das Bereich ihrer Schotterfelder. Das war von seinen westlichen Ausläufern schon an Grund der alten geologischen Aufnahmen von Schill in Baden zu muthmaßen. Die Höhe des Bodanrückens zwischen dem Unter- und Überlingersee ist mit dem „älteren Deckenschotter“ gekrönt, er kehrt in gleicher Höhe am Nordostufer des Überlingersees wieder, dieser ist in ihn wie ein Thal eingeschnitten, aber die Lagerung des Deckenschotters ist hier eine ungestörte, von einer Senkung gegen die Alpen hin oder nur einem

geringeren Ansteigen nach ihnen findet sich keine Andeutung. Gleiches stellte sich für den Untersee heraus, auch er ist in den „älteren Deckenschotter“ eingesenkt. Endlich fand sich dasselbe für den westlichen Theil des Obersees. Er wird im Norden überragt vom Höchsten und der Gegend von Heiligenberg. Hier treffen wir den Deckenschotter in über 700 *m* Höhe, und er liegt auf der höchsten Erhebung des Südufers, dem Hochtannenberge, wie wir bereits 1898 feststellten. Zwischen beiden Erhebungen, mehr als 600 *m* tiefer, befindet sich gerade die tiefste Stelle des Bodensees. Dabei aber lassen sich weder am Höchsten noch am Hochtannenberge auch nur leise Spuren eines verkehrten Gefälles im älteren Deckenschotter nachweisen, er erreicht vielmehr gerade hier seine höchsten Punkte. So stellt sich denn der Obersee ganz ebenso wie der Überlingersee als ein thalähnlicher Einschnitt in ungestört lagernde Quartärbildungen dar, und es ist ganz ausgeschlossen, an ein verbogenes oder eingesunkenes Thal zu denken.

Wie bereits angedeutet, nennen wir die Schotterablagerungen, die zur ältesten Vergletscherung gehören, älteren Deckenschotter. Der Name wurde gewählt, weil sie wie eine Decke über das Land gebreitet sind. So erscheinen sie in Bayerisch-Schwaben zwischen Lech und Iller, so in Oberschwaben zwischen dieser und der Riss, so ferner am Westende des Sees, wo allerdings die ehemals weit ausgedehnte Decke auf wenige Zeugen zusammengeschwunden ist. Sie krönen die Höhen, die sich inselartig aus dem Thalgeflechte erheben. Eine solche

Art der Ablagerung eines Gletscherflussgerölles setzt eine ganz andere Oberflächengestalt des Landes voraus, als wir sie gegenwärtig finden. Sie verlangt eine ehemals ziemlich ebene Landoberfläche, über welche die Flüsse ihre Gerölllast gleichmäßig ausbreiten konnten, indem sie unregelmäßig hin- und herpendelten, unbeengt durch steile Ufer. Diese Ebenheit ist keineswegs im Schichtbau des Landes vorgeschrieben, sie ist keine Schichtfläche, sondern schneidet die Schichtflächen der Molassenumhüllung des Alpenvorlandes quer ab. Gerade in Oberschwaben konnte dies festgestellt werden. Die Sohle des älteren Deckenschotter wird hier bald von der älteren Meeresmolasse, bald von der jüngeren Süßwassermolasse gebildet, welche letztere eine große Schichtmulde der ersteren ausfüllt. Sie gibt sich heute nicht mehr oberflächlich zu erkennen; bereits zur Zeit der ältesten nachweisbaren Vergletscherung war sie ersetzt durch eine schiefe Ebene. Der Bau unserer Molassenmulde zeigt manche Unregelmäßigkeiten. Ihr Nordflügel ist etwas geknickt; während der Überlingersee ganz in die Meeresmolasse eingeschnitten ist, erstreckt sich der Zellersee ganz in der oberen Süßwassermolasse. Offenbar läuft eine Störungslinie zwischen beiden entlang. Oberflächlich ist sie heute nirgends mehr angedeutet, und da wir den älteren Deckenschotter auf der Süßwassermolasse des Schiener Berges ebenso hoch finden wie auf der Meeresmolasse der Bodanhalbinsel und ob Sipplingen, so muss auch hier vor seiner Ablagerung die durch die Störung im Schichtbau geschaffene Unebenheit abgetragen ge-

wesen sein. So führt uns die Lagerung des älteren Deckenschotters im Rheingletschergebiete zu der Erkenntnis, dass auf die Zeit der Molassenbildung nicht bloß zunächst eine Zeit von deren Aufrichtung durch Schichtstörungen, sondern später noch eine Zeit der Einebnung gefolgt ist, durch welche im Alpenvorlande die directe Beziehung zwischen Schichtbau und Oberflächengestalt verwischt worden ist.

Auf die Ursachen einer solchen Einebnung haben die neueren Untersuchungen über die Flussthätigkeit Licht gebreitet. Sie lehrten kennen, dass die Flüsse dann, wenn sie nicht mehr in die Tiefe einschneiden können, allmählich das Land fast bis zum Niveau einer Ebene abtragen, die durch das Flussgefälle festgelegt ist. W. M. Davis nannte ein solches Gebilde eine *Peneplaine*, was wir mit Halbebene verdeutschen können, wenn wir *Paeninsula* mit Halbinsel übersetzen, was wir aber besser durch Rumpf- oder Abtragungsebene wiedergeben. Eine solche Rumpfebene, wie wir sie heute im Wiener Becken prächtig entwickelt finden, erstreckte sich, wie die deckenförmige Verbreitung des ältesten Glacialschotters lehrt, vor Eintritt der großen Eiszeit quer durch das Alpenvorland Oberschwabens, im Westen fast 300 *m*, in der Mitte mehr als 400 *m* über dem Spiegel des heutigen Bodensees. Darnach hätten wir sie an seinem Ostende in über 900 *m* Höhe zu erwarten. In der That begegnen wir hier einer der auffälligsten Abebnungsflächen, die wir uns vorstellen können, nämlich dem Appenzeller Sporn. Er springt zwischen Bodensee und Rhein-

thal hervor und gehört in das Bereich der Molasseketten. Deutlich können wir zwei Sättel, getrennt durch eine Schichtmulde, verfolgen. Aber nur die kleineren Formen des Spornes verrathen den Schichtbau, im großen und ganzen liegen Sättel und Mulden gleich hoch und stellen eine ungefähr ebene Oberfläche dar, die sich um 900 bis 1000 *m* Höhe bewegt. Das sind die saftigen Wiesen-Hochflächen des Cantons Appenzell-Außerroden mit den freundlichen Orten Heiden und Trogen, ein schönes Beispiel für eine wieder in Zerthaltung begriffene Rumpfebene. Schreiten wir dann weiter rheinaufwärts, so begegnen wir an zahlreichen Stellen Leisten und Kanten am Thalgehänge, welche sich in das Niveau unserer Rumpfebene ordnen, und erreichen endlich oberhalb Chur jene hochgelegenen, in der Vertiefung zurückgebliebenen Thalböden des mittleren Graubündens, auf welche A. Heim so nachdrücklich hingewiesen hat. Alle diese Einzelercheinungen vereinigen sich zu einem großen Gesamtbilde, nämlich dem eines hoch über dem heutigen gelegenen Thalsystems, in welchem die Flüsse nicht in die Tiefe, sondern in die Breite arbeiteten; schufen sie so in den Alpen außergewöhnlich breite Täler, so böschten sie das Alpenvorland einheitlich ab und verwandelten es in eine weite Rumpfebene, die ähnlich einem Schuttkegel, aber aus älterem Gesteine bestehend, mit einem Gefälle von $4-5\text{‰}$ alpenwärts anstieg, also etwa mit dem Gefälle, mit dem der Neckar heute sein reiches Gelände durchmisst. An einigen Stellen haben nachträgliche Bewegungen der Erdkruste das ursprüngliche Gefälle der großen Ab-

tragungsfläche geändert, aber im großen und ganzen steht sie noch mit unveränderten Höhen da, hoch über dem heutigen Bodensee und Rheinthal, und beide erscheinen in sie nicht durch Bewegungen der Erdkruste eingesenkt, sondern eingeschnitten durch eine riesige Erosionsarbeit, welche ausgeführt worden ist seit der ersten nachweisbaren Vergletscherung des Bodenseegebietes. So gewinnen wir denn nun einen festen Anhaltspunkt für die Entstehung des Seebeckens mit seiner Wanne: sie ist verhältnismäßig jugendlich und fällt in das große Eiszeitalter, sie geschah durch Erosion ohne wesentliche Mitwirkung von Krustenbewegungen. Diese Erosion aber kann nicht die des Wassers gewesen sein, denn diese furcht Thäler ein, welche sich in gleichmäßigem Gefälle zum Meere senken, und welche sich gleichsohlig treffen. Ganz anders die Erosion, die im Bodenseegebiete geherrscht hat. Sie hat in das Rheinthal eine Wanne eingefurcht, deren Boden trotz jahrtausendelanger Zuschüttung sich noch heute bis in eine Meereshöhe herab erstreckt, die der Rhein erst dicht oberhalb Straßburg erreicht; in diese Furche münden die von ihr ausstrahlenden Finger nicht gleichsohlig ein, sondern 100, — 150, ja 200 *m* höher. Sie setzt sich rheinaufwärts unter einer hochaufgeschütteten Thalsole fort, welche weit tiefer liegt als die Sohlen der Nebenthäler. In engen Klammern stürzen sich die Gewässer der Vorarlberger Alpen zum Rhein herab; der Thalgrund der Bregenzer Ache liegt im vorderen Bregenzerwalde gute 300 *m* über dem Boden des benachbarten Rheinthaales, und in wegloser Schlucht muss der

Fluss diesen Höhenunterschied durchmessen. Deutlich erkennen wir, dass die Erosion im Hauptthale stärker gearbeitet hat als in den Nebenthälern, sie hat dabei jenes so stark vertieft, dass es theils sich mit Wasser erfüllt hat, theils fortwährende Aufschüttung erfährt, durch die seine Sohle erhöht wird. Heute steht die Thalbildung dort stille, wo die große Erosion des Eiszeitalters wirksam gewesen ist. Wenn diese aber auch wesentlich anders sich entfaltete als die Thalerosion des rinnenden Wassers, so hat sie doch mit den Wirkungen des rinnenden Wassers unverkennbare Ähnlichkeit, welche sich in der Ausgestaltung der Flussbetten selbst äußert. Ein großer Fluss ist tiefer als ein kleiner, und während sich die Thalsohlen beider in gleicher Höhe vereinigen, liegt die Bettsohle eines kleinen Nebenflusses an der Mündung erheblich höher als die des größeren Hauptflusses. Die Erosionsfurchen des Rheinthales und Bodenseegebietes können angesehen werden als die Werke großer Strömungen, welche, das Rheinthal und das Seegebiet bis zu namhafter Höhe erfüllend, sich hier alpenauswärts bewegten und dabei ihre Betten in ähnlicher Weise ausgestalteten wie das rinnende Wasser die seinen. Solche Strömungen können wir in der That in unserem Gebiete nachweisen. Sie bestanden in den großen eiszeitlichen Vergletscherungen, die sich zwar weit langsamer bewegten als das rinnende Wasser, aber als dickflüssige Massen denselben Gesetzen gehorchten. Innerhalb ihrer Grenzen liegt der See.

So führt uns die Analyse der Oberflächenformen des Seegebietes zu Annahmen, die anderweitig bereits längst

erwiesen sind. Der geologische Nachweis mehrerer Vergletscherungen hellt uns dann aber wieder manche Einzelheiten in den Formen auf. Halten wir uns den Gang der Dinge vor Augen. Die erste Vergletscherung kam, sie furchte ihr Bett in die voralpine Abtragungsebene ein und grub in die Spitze des alten flachen Abtragungskegels eine Vertiefung ein; nach dieser hin richteten sich nach dem Rückzuge des Eises die Gewässer eines engeren Umkreises und schnitten nach ihr hin laufende Thäler ein. Dann kam nach langer Zeit eine neue Vergletscherung, sie fand ein Becken mit einem Kranze von ihm zustrahlenden Thälern vor. Becken und Strahlen wurden vom Eise tiefer ausgefurcht, aus den kleinen Erosionsrinnen des Wassers wurden breite Furchen der Eisbewegung. Dann setzte nach Schwinden der Vergletscherung abermals die Wasserwirkung ein, sie wurde von einer dritten, größten Vergletscherung abgelöst, es folgte eine dritte Periode fluviatiler Thalbildung, schließlich kam die letzte, vierte Vergletscherung. Wie sehr lebhaft seither stellenweise wenigstens die Thalbildung gewesen, lehrt der tiefe Einschnitt der oberen Rothach, südlich von Wilhelmsdorf, der sich nach dem Bodensee hin richtet. Die eigenthümliche Gestaltung des Seebeckens mit seiner breiten Handfläche des Obersees und den davon fingerförmig ausstrahlenden Furchen wird uns durch die Annahmewiederholter Vergletscherungen leicht verständlich. Die Handfläche veranschaulicht uns vornehmlich die glaciale Arbeit, die Finger sind das kombinierte Werk fluviatiler und glacialer Erosion. Erstere wies letzterer die Bahnen.

Sehr wichtig ist für unseren See, dass die letzte Vergletscherung kleiner war als die vorletzte. Ihre Erosionswirkungen erstreckten sich daher weniger weit, und ihre anhäufende Thätigkeit setzte schon dort ein, wo die vorletzte Vergletscherung noch ausfurchte. Zwei schöne Zeugen dafür sind das Wurzacher und Buchauer Ried. Sie sind die Spitzen der fingerförmigen Furchen, welche die vorletzte Vergletscherung ausgestaltet hatte, die aber durch die Endmoränen der letzten abgedämmt worden sind. Der Obersee selbst ist in seiner Erscheinung wesentlich dadurch bestimmt, dass die letzte Vergletscherung weniger weit als die vorletzte reichte. Seine Ufer werden nahezu ringsum von mächtigen Moränenaufschüttungen gebildet, welche hineingebaut worden sind in das größere Zungenbecken der vorletzten Vergletscherung. Es war für die letzte zu weit, wurde daher von ihr nicht vergrößert, sondern durch Moränenablagerungen verkleinert. So kommt es denn, dass uns die nächsten Seeufer nichts von Erosionswirkungen, sondern nur eine kräftige Accumulation verrathen. Diese Accumulation ist so bedeutend, dass sie den Seespiegel heute höher spannt, als die Landoberfläche am unteren Seeende vor Eintritt der letzten Vergletscherung gewesen ist. Würden wir die mächtigen Schotter und Moränen, die am unteren Seeende längs des Rheines aufgehäuft worden sind, wegnehmen, so würde der See um 30 *m* sinken; um rund so viel wird er durch den Rheinfall von Schaffhausen aufgedämmt, neben welchem wir ein altes, durch die letzte Vergletscherung verschüttetes Rheinbett verfolgen können, das der Strom nicht

wiedergefunden hat. Ein solches Sinken würde den stolzen See ganz wesentlich verändern. Seine Oberfläche würde sich von 538km^2 auf 378km^2 , also rund um 160km^2 verkleinern. Der Untersee würde bis auf zwei unbedeutende Vertiefungen bei Berlingen und Steckborn verschwinden. Es würde ein keilförmiger Seeumriss entstehen, und das zurückbleibende Volumen wäre 35km^3 statt 48km^3 . Etwa 29% der heutigen Seefläche, 27% des jetzigen Seevolumens sind bedingt durch die Aufdämmung durch die Ablagerungen der letzten Vergletscherung. Wenig mehr als $\frac{7}{10}$ des Bodensees sind als ein Werk der glacialen Erosion der letzten Vergletscherung anzusehen, immerhin ein Werk von so gewaltiger Größe, das namentlich denjenigen mit Zweifeln erfüllen kann, welcher die landläufige Vorstellung von der Wirkungslosigkeit der Gletscher theilt, das aber denjenigen nicht überraschen wird, der die Mächtigkeit der glacialen Aufschüttungen im Seegebiete kennt. Innerhalb $\frac{3}{8}$ des Umfanges eines Kreises, der mit einem Radius von 70km um die Rheinmündung geschlagen wird, ist alles Land mit so mächtigen Moränen bedeckt, dass die älteren Gesteine nur in Gestalt ganz schmaler Ausbisse zutage treten. Auf 7000km^2 ist das Moränengebiet rings um den See zu schätzen, dem eine Fläche der erodierten Seewanne von 378km^2 gegenübersteht. Veranschlagen wir die Mächtigkeit der Moränenaufschüttungen auf 30m im Durchschnitte, womit wir jedenfalls hinter der Wirklichkeit zurückbleiben, so erhalten wir ein Moränenvolumen von 210km^3 , das 6mal so groß ist als der

erodierte Seekörper. Allerdings kann eingewendet werden, dass jener gewaltige Moränenbogen nicht bloß der letzten Vergletscherung, sondern an seiner Peripherie allenthalben der vorletzten angehört, und dass wir jener nur ein Areal von etwas über 5200 km^2 zuschreiben dürfen, wovon 378 km^2 wieder für die erodierte Seewanne abgehen. Aber selbst dann erhielten wir noch ein Mindestvolumen der Moränen von 146 km^3 , rund 4mal so viel als das Volumen des Erosionswerkes im See. Dabei lassen wir aber die gewaltigen Massen glacialer Schotter, die Rhein und Donau begleiten, die gewiss enormen Massen glacialen Schlammes, die in beiden Flüssen bis zum Meere gewandert sind, ganz außer Betracht. Ihre Mengen entziehen sich ganz unserer Schätzung, und höchstens das eine lässt sich sagen, dass sie aller Wahrscheinlichkeit nach nicht geringer waren als die der abgelagerten Moränen, sodass unter allen Umständen das, was wir heute als Werk glacialer Erosion ansprechen, nur einen kleinen Theil der vom alten Rheingletscher bewegten Massen darstellen würde. Dies muss erwartet werden, denn seitdem sich der alte Rheingletscher zum letztenmale aus dem Alpenvorlande zurückzog, ist an der Zufüllung des von ihm ausgefurchten Bettes mächtig gearbeitet worden. Aber wenn wir uns vergegenwärtigen, dass allein das Moränenmaterial der letzten Vergletscherung, das noch im Alpenvorlande liegt, genügen würde, sowohl die erodierte Seewanne zuzuschütten, als auch das oberhalb von ihr gelegene Rheinthäl, von ihrer Mitte bis nach Chur hin, im Durchschnitte mehr als 100 m hoch

anzufüllen, so erkennen wir, dass das, was vom Gletschertransporte noch daliegt, die Bildung einer glacialen Erosionsfurche von stattlicher Ausdehnung erklärlich macht. Erwägen wir dann ferner, dass unser Seegebiet nicht bloß von einer, sondern von vier verschiedenen Vergletscherungen betroffen worden ist, von denen die vorletzte die letzte an Ausdehnung wesentlich übertraf, so kann uns die Umgestaltung der voreiszeitlichen hochgelegenen Thalböden in das tiefeingeschnittene Seegebände der Gegenwart quantitativ durchaus nicht überraschen. Dass aber qualitativ die Gletscher befähigt sind, Wannen auszufurchen, geht aus den neueren Untersuchungen über die Entstehung der Moränen unserer heutigen Gletscher und aus ihrem Vermögen, ihre Sohle aufwärts zu schieben, klar hervor.

Dass der Bodensee der Hauptsache nach ein Werk glacialer Erosion ist, ist das Ergebnis meiner Untersuchungen. Sie bringen für denjenigen nichts Neues, welcher von der Kraft der Argumente, die Ramsay vor vier Jahrzehnten aufstellte, überzeugt worden ist. Gleichwohl waren die aufgewendete Zeit und Mühe vielleicht nicht vergeblich, denn es ist zum erstenmale, dass durch die genauere Untersuchung eines größeren Seengebietes Ramsays Theorie sich als die allein anwendbare herausstellt und andere Hypothesen als unzulänglich erwiesen werden.

Das Entgegenkommen der Firma Chr. Herm. Tauchnitz in Leipzig ermöglicht mir, ein Kärtchen des Rheingletschers beizulegen, das eine dem Formate dieser Vorträge entsprechende Verkleinerung der Karte des Rheingletschergebietes in meinem und Brückners Werke über die Alpen im Eiszeitalter (Leipzig, Chr. Herm. Tauchnitz, 1901 und 1902) darstellt. Es zeigt die Lage des Bodensees im alten Gletschergebiete. Ringsum verläuft der Kranz der Moränen der älteren Vergletscherungen, der Mindel- und Riss-Moränen, an welche sich die Felder des älteren und jüngeren Deckenschotters und Hochterrassenschotters lehnen. In den Altmoränen verläuft der Wall der Jung-Endmoränen der letzten (Würm-) Vergletscherung, an ihm beginnen die Geröllfelder der Niederterrassen. Zwischen Jung-Endmoränen und See erstrecken sich die Moränenhügel der Drumlin, deren Längsachsen vom See ausstrahlen und die engen Beziehungen desselben zur Vergletscherung veranschaulichen. Außerdem sind die verwickelten Abflussrinnen der letzten oder Würm-Vergletscherung und die Eisseen, die sich zwischen ihr und den Endmoränen bei ihrem Rückzuge bildeten, angegeben. Endlich sind die Uferlinien des Bodensees, so wie er beim Rückzuge des Eises dalag, verzeichnet.

A. Penck. Der Bodensee.

