

J. Nr. 870 Credner

u/ Billig ✓
u/ Stop: 1850-1808, 8000 ft.

1901 / freipulld
1501 = 1621a

RUDOLF CREDNER.

DAS EISZEIT-PROBLEM.

WESEN UND VERLAUF DER DILUVIALEN EISZEIT.

freipulld 1902?



Vorbemerkung. Der nachstehende Aufsatz bildete den Inhalt der Antrittsrede des Verfassers gelegentlich der Übernahme des Rectorats der Universität Greifswald am 15. Mai 1901.

Ausser einer Orientierung über den derzeitigen Stand der Eiszeitfrage und den Anteil geographischer Forschung an deren Lösungsversuchen, bezweckte der Vortrag, im Anschluss an die — hier in Wegfall gebliebenen — Einleitungsworte, in welchen das Verhältnis der Geographie zu ihren Nachbar-Disziplinen kurz erörtert war, die Vorführung eines typischen Beispiels jener zahlreichen Probleme, deren Lösung nur durch Zusammenarbeit mehrerer Wissenschaften, im vorliegenden Falle der Geologie und Geographie, gefördert werden kann.

Von einer specialisierten Quellenangabe ist mit Rücksicht auf den Vortrags-Character des Aufsatzes abgesehen. Der Fachmann wird die benutzte Litteratur auch so leicht herauserkennen.

Ihren wichtigsten Charakterzug erhält die Eiszeit, wie es schon der von dem Botaniker Schimper in den dreissiger Jahren des vorigen Jahrhunderts zuerst eingeführte Name ausdrückt, durch die der heutigen gegenüber ungleich grossartigere Entwicklung der festländischen Eismassen, des Gletschereises. War es auch nicht, wie Ludwig Agassiz unter dem ersten Eindruck der weiten Verbreitung der Eiszeitspuren annehmen zu müssen glaubte, eine riesenhafte Eiskappe, die sich von den Polarregionen aus, Alles unter sich begrabend, bis in

tropische Breiten ausgebreitet haben sollte, so war doch die damalige Ausdehnung des Eises eine gewaltige. Die meisten Hochgebirge der Erde, wie unsere Alpen, die Pyrenäen, der Kaukasus, Himalaya und Karakorum, das Felsengebirge und die Sierra Nevada Nordamerikas, die patagonischen und chilenischen Anden Südamerikas, die Neuseeländischen Alpen starteten in jener Zeit von gigantischen Eisströmen, die, wie sich an den Spuren verfolgen lässt, die Thäler hunderte, ja bis über 1000 m hoch hinauf erfüllten und sich z. B. auf der Nordseite der Alpen bis in die Breite von München, als mächtige Eispanzer weit über das Vorland ausbreiteten. Aber nicht nur diese auch noch gegenwärtig, wenigstens in ihren höheren Teilen mit Gletschern ausgestatteten Gebirge, auch jetzt völlig eis- und schneefreie, wie unsere deutschen Mittelgebirge, vor allem Wasgau, Schwarzwald, Riesengebirge, bildeten in jener Zeit Centren von Vergletscherungen und erzeugten Eisströme, die z. B. im Wasgau und Schwarzwald den heutigen Alpengletschern an Grösse zum mindesten gleich kamen. Namentlich aber bedeckten ungeheure Inlandeismassen in einer Mächtigkeit von durchschnittlich über 1000 m von der skandinavischen Halbinsel und den Gebirgen der britischen Inseln ausstrahlend, das gesamte nördliche Europa, die Hälfte fast des Areals unseres Kontinentes, bis zum Rande des mitteldeutschen Gebirgslandes und weit bis in die centralen Teile Russlands hinein, und in noch riesenhafterer Ausdehnung, um fast 10 Breitengrade weiter nach Süden reichend, also auf Europa übertragen bis etwa in die Breite von Lissabon und Sicilien, den gesamten Osten und das Innere Nordamerikas, ein Gebiet fast von der Grösse ganz Europas. Lange Zeit glaubte man das eiszeitliche Phänomen ausschliesslich auf die höheren Breiten beider Hemisphären beschränkt. Geographischen Forschungsreisenden, in erster Linie Hans Meyer, W. Sievers, A. Hettner verdanken wir die für die Deutung der Genesis der Erscheinung überaus wichtige Entdeckung sicherer Spuren desselben auch unter niederen Breiten, ja selbst unmittelbar unter dem Aequator, so namentlich an den Vulkanriesen Ostafrikas, am Kilimandjaro bis mehr als 1000 m unter dessen

gegenwärtige Gletschergrenze und am benachbarten Kenia. Unzweifelhafte alte Glacialspuren in Gestalt von Moränen, Rundhöckern, Gletscherschliffen und Glacialschotter sind ferner aus den Tropen Südamerikas bekannt geworden, durch Sievers in der Cordillera de Merida in Venezuela und in der Cordillera von Santa Marta in Columbia, durch Stübel am Vulkan El Altar in Ecuador, durch Hettner in der Cordillera Real von Bolivia, durch A. Agassiz in der Umgegend des Titicacasees und durch Hauthal in den Gebirgszügen des nördlichen Argentinien. Die diluviale Vergletscherung ist also ein über die ganze Erde verfolgbares Phänomen.

Ein derartiges Anwachsen der Eisströme hat aber zur Voraussetzung, dass auch der das Nährmaterial der Gletscher liefernde Schnee in jener Zeit eine ungleich ausgedehntere und massenhaftere Verbreitung besessen hat, als gegenwärtig, dass gleichzeitig die untere Grenze der Region ewigen Schnees, die Schneelinie, beträchtlich tiefer hinabreichte. Schon die Thatsache der damaligen Vergletscherung jetzt schneefreier und der allein gletschererzeugenden Firnregion weit entrückter Gebirge, wie derjenigen Mitteldeutschlands liefert dafür den strikten Beweis. Solche Gebirge aber sind nicht nur hier, sondern auf der ganzen Erde, in der alten und neuen Welt, unter hohen und niedern Breiten angetroffen. Auch die Depression der Schneegrenze ist somit, wenn auch in lokal verschiedenem Masse, eine allgemeine gewesen. Den ungefähren Betrag derselben festzustellen, dürfte mit Hilfe einer von J. Partsch eingeführten Methode als gelungen zu betrachten sein. Danach lag die damalige Schneegrenze auf der ganzen Erde durchschnittlich etwa 1000 m niedriger als gegenwärtig.

Aber nicht nur in der ungleich ausgedehnteren Bedeckung mit ewigem Schnee, Gletschern und Inlandeis zeigte das damalige Antlitz der Erde fremdartige Züge, auch abseits dieser Gebiete begegnet uns ein von dem jetzigen völlig abweichendes Landschaftsbild. Eine alpine Flora und Fauna hatte sich entsprechend der Depression der Schneeregion über das mitteldeutsche Gebirgsland ausgebreitet, arktische Tundra mit ihren Moosen und Flechten, mit Zwergbirke und Zwergweide

reichte weit in das Gebiet der heutigen mitteleuropäischen Waldregion bis tief nach Deutschland hinein. Namentlich aber zeigten Erdstriche, die gegenwärtig unter einem excessiven Trockenklima schmachten und des belebenden Wassers fast völlig entbehren, die regenarmen Steppen- und Wüstenlandschaften, untrügliche Spuren einer in jener Vorzeit viel reichlicheren Bewässerung. Mitten in der ausgesprochensten Wüstenlandschaft der jetzt fast regenlosen Sahara treffen wir wohlentwickelte Thäler, also Werke der erodierenden Thätigkeit von Flüssen. Tiefe Schluchten in den jetzt wüstenhaften Felsplatten Palästinas, Trockenthäler mitten in der grossen Viktoria-Wüste im Innern von Australien und in der Atakama-Wüste in Südamerika, mächtige Geröllablagerungen in der Kalahari und in den Wüsten Centralasiens bekunden das frühere Vorhandensein wasserreicher, transport- und erosionskräftiger Flüsse und Ströme, wo jetzt weithin jedes fliessende Wasser fehlt. Am auffälligsten aber tritt uns dieser Contrast zu den heutigen hydrographischen Verhältnissen an den für diese Steppen- und Wüstenlandschaften charakteristischen abflusslosen Binnenseen entgegen. Sie alle zeigen in ihrer Umgebung die sichersten Merkmale eines früher ungleich höheren Wasserstandes. Hoch über dem jetzigen Spiegel des Kaspischen Meeres und Aralsees sowohl, wie des Toten Meeres, an sämtlichen abflusslosen Seen des äquatorialen und südlichen Afrika, an denen Inneraustraliens ebenso wie Argentiniens, des bolivianischen Hochlandes und des Westens der Vereinigten Staaten hat man alte Seeterrassen und Strandlinien angetroffen, bis zu denen, oft 100 und mehr Meter höher als gegenwärtig, die jetzt zum Teil bis nahe zum Austrocknen zusammengeschrumpften Seen vormals mit Wasser erfüllt waren. Wohin wir uns also wenden, überall treten uns Beweise einer ungleich bedeutenderen Wasserbedeckung in einer der Jetztzeit kurz vorangegangenen Periode entgegen.

Dass diese Periode reichlicher Bewässerung — man hat sie als „Pluvialzeit“ bezeichnet — zeitlich mit der Vereisungsperiode zusammenfällt, darüber kann ein Zweifel nicht bestehen. Schon die Abhängigkeit der Gletscher und abflusslosen Seen

von den nehmlichen klimatischen Faktoren spricht dafür. Beide sind, wie Brückner betont, in ihrer Grösse durchaus eine Funktion des Niederschlags, welcher sie nährt, und der Wärme, welche durch Verdunstung oder Abschmelzung an ihnen zehrt. Anwachsen und Schwinden beider ist vom Klima in gleichem Sinne beeinflusst. Thatsächlich lassen sich auch überall da, wo abflusslose Seen und vergletscherte Gebirge benachbart sind, wie im tropischen Afrika und Südamerika, die Spuren des vormaligen Seehochstandes und gleichzeitiger starker Gletscherentwicklung nebeneinander verfolgen. Überdies ist der strenge geologische Beweis für ihr zeitliches Zusammenfallen an mehreren Seen am Fusse der Sierra Nevada in Nordamerika erbracht worden. Derselbe Zeitabschnitt der Erdgeschichte, die Diluvialperiode ist es also, in welcher Gletscher, Depression der Schneelinie und Höhe des Wasserstandes der abflusslosen Seen jenes Maximum ihrer Entwicklung erreichten.

So alt das Problem der Eiszeit ist, so alt ist auch die Frage, ob das Eintreten derselben ein einmaliges oder ein sich periodisch wiederholendes gewesen ist. Die Aufgabe, diese Frage zu lösen, fiel ausschliesslich der geologischen Forschung zu. Sie hat dieselbe in letzterem Sinne entschieden. In sämtlichen genauer untersuchten Glacialgebieten der alten sowohl wie der neuen Welt, der Nord- ebenso wie der Südhemisphäre hat man nämlich beobachtet, dass zwischen je zwei Moränen, also Ablagerungen rein glacialen Ursprunges, Bildungen eingeschaltet sind, die nicht unter Gletschern entstanden, vielmehr fluviatiler, lacustrer oder mariner Entstehung sind und zum Teil Reste von Pflanzen und Tieren führen, deren Charakter beweist, dass zur Zeit ihrer Existenz ein von dem heutigen nicht wesentlich verschiedenes Klima geherrscht haben muss. Es haben also — diese Thatsache steht fest — in der Diluvialzeit Perioden gewaltigen Gletscherwachstums, Glacialzeiten, mit Interglacialzeiten abgewechselt, innerhalb deren, wie aus der Verbreitung der während derselben entstandenen Ablagerungen hervorgeht, die Gletscher bis annähernd in ihre jetzigen beschränkten Grenzen zurückgewichen sind, das norddeutsche Inlandeis bis weit nach

Skandinavien hinein, die Alpengletscher bis hoch hinauf in das Gebirge. Dabei handelt es sich nicht um rasch aufeinanderfolgende Vorstösse und Rückzüge, sondern um Vorgänge von ausserordentlich langer Dauer. Dafür spricht schon die gewaltige Ausdehnung, welche nicht nur die Gletscher, wie z. B. der bis Lyon reichende Rhonegletscher, sondern namentlich auch die Inlandeispänzer Nordeuropas und Nordamerikas erreichten.

Zahlenmässig freilich, also nach Jahrhunderten oder Jahrtausenden, ist die Dauer der Glacial- und Interglacialzeiten nicht festzustellen. Nur aus Werken, welche nachweislich im Laufe derselben entstanden sind, zumal wenn sie Erzeugnisse von Kräften sind, die wir heute noch in Wirksamkeit sehen und in ihren Fortschritten kontrollieren können, vermögen wir uns eine wenigstens annähernde Vorstellung von der Länge der während jener Ereignisse dahingegangenen Zeitläufe zu verschaffen. Derartige diluvialzeitliche Werke und Vorgänge sind uns in grosser Zahl bekannt, so z. B. interglaciale Thäler von 100 und mehr Meter Tiefe aus dem französischen Centralplateau, dem Alpenvorland und den Vereinigten Staaten, an anderen Stellen Strandverschiebungen und beträchtliche Veränderungen in der Verteilung von Wasser und Land. Auch die Lagerungsstörungen des Kreidegebirges unsrer Ostseeinsel Rügen, die für den malerischen Effekt der Steilküste Jasmunds so bedeutungsvollen Verwerfungen der dortigen Kreideschollen, fallen in eine, und zwar die jüngste Interglacialzeit, in die Zeit zwischen den beiden letzten Vergletscherungen. Ferner aber hat sich in jeder der Interglacialzeiten, wie es die denselben entstammenden pflanzlichen Reste beweisen, eine zum Teil wiederholte vollständige Wandlung des Pflanzenkleides der eisfrei gewordenen Flächen vollzogen. Einer sich nach dem jedesmaligen Rückzuge des Eises zunächst einstellenden arktischen Tundren-Vegetation, ist eine Wald-Vegetation gefolgt, ihr wieder, wenigstens in der letzten Interglacialzeit, eine, der heutigen Südost-Russlands ähnliche Steppenlandschaft, und der gleiche Wechsel, nur in umgekehrter Reihenfolge musste sich jedesmal beim allmählichen Heraunahen der neuen

Vereisung vollziehen (Brückner). Welch ausserordentlich lange Zeiträume setzen derartige Wandelungen und Wanderungen der Vegetation allein innerhalb einer einzigen Interglacialzeit, also nur eines Bruchteils der gesamten Diluvialperiode voraus! Sie alle, Thalbildungen, Strandverschiebungen, tektonische Dislocationen, Wandlungen des Klimas und der Pflanzen- und Tierwelt vollziehen sich auch noch gegenwärtig, wie unendlich langsam aber und im einzelnen kaum merklich!. Wir haben keinen Grund zu der Annahme, dass dieselbe in jener Vorzeit in wesentlich rascherem Masse vor sich gegangen wären.

Gehen wir noch einen Schritt weiter. Eine Reihe triftiger Gründe — die Zeit verbietet mir, sie augenblicklich näher zu erörtern — spricht für die Annahme, dass die Dauer jeder der einzelnen Interglacialzeiten wenigstens ebenso lang, wahrscheinlich aber bedeutend länger gewesen sein muss, als diejenige der Postglacialzeit, also des seit der letzten Vereisung bis heute verflossenen Zeitabschnittes. Diese Postglacialperiode aber umfasst nach Massgabe der innerhalb derselben stattgehabten Umgestaltungen der Erdoberfläche ganz gewaltige Zeiträume, Zeiträume, in denen, um nur dies eine uns nächstliegende Beispiel anzuführen, unsere Ostsee infolge wiederholter Hebungen und Senkungen besonders der skandinavischen Halbinsel im Maximalbetrage von nahezu 280 Metern, erwiesenermassen 3 vollständig verschiedene Entwicklungsphasen durchlaufen hat, nämlich aus einem Eismeerarm in einen Süsswassersee, dann wieder in ein Brackwassermeer umgebildet worden ist, ehe sie ihre heutige Gestaltung und Beschaffenheit angenommen hat. Auch heute noch dauern die diesen Wandlungen zu Grunde liegenden Niveauveränderungen an den skandinavischen Küsten fort. Ihr derzeitiger Maximalbetrag beziffert sich nach den Untersuchungen Holmströms an den Ufern des bottnischen Meerbusens auf 1 cm jährlich, also auf bloss 1 m in 100 Jahren!

Alles das erweckt in uns wenigstens eine Ahnung von dem Zeitmass, welches wir zur Beurteilung der Dauer der diluvialen Eiszeiten und der mit ihnen wechselnden Interglacialzeiten anzulegen haben, eines Phänomens, von dessen letzten Phasen auf dem Boden Mitteleuropas schon der Mensch Zeuge gewesen ist.

Über die Zahl der diluvialen Glacial- und Interglacialzeiten gehen die Ansichten noch auseinander. Für Norddeutschland ist eine mindestens dreimalige Ausbreitung des skandinavischen Inlandeises mit zwei dazwischen liegenden Interglacialzeiten festgestellt. Die gleiche Zahl galt bis vor kurzem auch für das Alpengebiet, bis es im Jahre 1898 dem um die Erforschung der dortigen Glacialphänomene besonders verdienten Wiener Geographen Albrecht Penck gelungen ist, noch eine vierte, älteste Vergletscherung und damit eine weitere dritte Interglacialzeit wahrscheinlich zu machen. Wichtiger als die endgültige Zahl der Glacialinvasionen ist für uns die Beobachtung, dass an denselben ausser den Gletschern auch die erwähnten abflusslosen Seen teilgenommen haben. Die sorgfältigen Untersuchungen der einschlägigen Verhältnisse an den diluvialen Vorläufern des Great Salt Lake und seiner Nachbarn, dem Lake Bonneville und Lake Lahontan durch die amerikanischen Geologen Gilbert und Russel haben nämlich ausser Zweifel gestellt, dass auch diese Seen in vollkommener Harmonie mit der Vereisung Nordamerikas, gleichzeitig und gleichsinnig mit deren Schwankungen mehrere Perioden eines Hochstands und solche beträchtlichen Tiefstands, ja vollständiger Austrocknung durchlaufen haben.

So beginnt sich das Bild von dem Wesen und dem Gange der Ereignisse der diluvialen Eiszeit aus dem Wirrsal der Einzelercheinungen allmählich klarer und schärfer abzuheben. Nicht ein katastrophenartig unvermittelt über die Erde hereingebrochenenes, einmaliges Ereigniss erscheint sie uns mehr, sondern als ein von bestimmten Gesetzen beherrschtes klimatisches Phänomen, ein System mehrerer periodisch wiederholter grosser Schwankungen des Klimas unseres Planeten. Worin aber diese klimatischen Oscillationen eigentlich bestanden, in welchen Grenzen sie sich bewegt haben, darüber herrschte bis vor kurzem noch völlige Unklarheit. Alle jene für dieselben zeugenden Vorgänge können sowohl durch Schwankungen ausschliesslich der Temperatur als auch durch solche bloss der Niederschläge, endlich auch durch gleichzeitige Änderungen beider Faktoren bewirkt sein. Jede dieser Modalitäten hat

man denn auch für die Deutung des Glacialphänomens in Anspruch genommen, gelangte dabei aber zu den widersprechendsten Resultaten. Während die Einen zur Erklärung der riesenhaften Entwicklung der Inlandeisdecken Kältegrade von enormer Höhe annehmen zu müssen glaubten, wurde von anderer Seite die Ansicht vertreten, dass gerade umgekehrt während der Zeiten der Eisvorstösse höhere Temperaturen geherrscht haben müssen als jetzt, da nur unter dieser Voraussetzung Verdunstung, Luftfeuchtigkeit und Niederschläge die erforderliche Steigerung hätten erfahren können, um derartige Eismassen entstehen zu lassen. Andere wieder maassen den Temperaturverhältnissen keinerlei oder doch nur untergeordnete Bedeutung bei, suchten vielmehr die Ursache der Eisvorstösse ausschliesslich in einer beträchtlichen Vermehrung der Niederschlagsmengen. Alle diese Erklärungsversuche aber bewegten sich im Rahmen von blossen Spekulationen. Eine festere Basis hat die Forschung erst gewonnen, seitdem man begonnen hat, die eiszeitlichen Erscheinungen nicht mehr als etwas ganz einzig und isolirt Dastehendes zu betrachten, sondern dieselben im Zusammenhange mit dem heutigen Gletscherphänomen zu erfassen und die an diesem wirksamen, also kontrollierbaren atmosphärischen Vorgänge zum Ausgangspunkt für die Beurteilung der damaligen Klimazustände zu machen. Durch diese Anknüpfung an gegenwärtige Verhältnisse aber ist die Glacialfrage in unmittelbaren Connex mit der Geographie und deren Forschungsgebiet getreten und Geographen, vor allen Albrecht Penck, Eduard Richter und Eduard Brückner sind es denn auch gewesen, welche in diesen von der Glacialforschung eingeschlagenen Bahnen mit glücklichem Erfolg weitergearbeitet haben. Penck besonders gebührt das Verdienst, zuerst die in dieser Richtung grundlegende Thatsache betont zu haben, dass das diluviale Eiszeitphänomen seinem Wesen nach durchaus der heutigen Gletscherentwicklung verwandt, nur graduell von dieser verschieden ist, dass es nur eine Potenzierung, eine excessive Steigerung derselben darstellt. Wie heute, waren auch in der Eiszeit, um nur wenige Punkte der Ausführungen Pencks hervorzuheben,

die Gletscher in ungleichem Maasse entfaltet; nicht sämtliche höheren Gebirge der Erde, sondern nur die auch noch heute dank ihrer klimatischen Lage mit Bezug auf Gletschererzeugung begünstigten, waren damals vergletschert; Gebiete dagegen, die wie Sibirien oder die ostasiatischen Monsunregionen gegenwärtig von einem gletscherfeindlichen, excessiven Klima beherrscht sind, haben auch keinerlei Spuren einer diluvialen Vereisung aufzuweisen. Wie der Entwicklungsgrad der Gletscher gegenwärtig in Europa von Westen nach Osten, in der neuen Welt in umgekehrter Richtung abnimmt, in ganz entsprechender Weise macht sich dort auch eine Abnahme des diluvialen Eisphänomens geltend, wie ferner heute die südliche Wasser-Halbkugel vermöge ihres oceanischen Klimas der Gletscherbildung mehr Vorschub leistet als die nördliche Landhemisphäre; so war es auch in der Eiszeit. Ja bis ins Einzelne lässt sich dieser Parallelismus zwischen einst und jetzt verfolgen. In der Jetztzeit wie in der Glacialperiode zeigen sich die Alpen stärker vergletschert als die Pyrenäen, die Westalpen stärker als die Ostalpen. Von den mitteldeutschen Gebirgen erzeugten Wasgau und Schwarzwald, auch heutzutage erheblich schneereicher, viel gewaltigere Eisströme als das schneearme Riesengebirge und die Tatra. Die imposanteste Inlandeisdecke der Diluvialzeit, diejenige des kanadischen Nordamerikas fällt mit einer der auch jetzt noch schneereichsten Gegenden der Erde, den südlichen Hudsonbai-Ländern zusammen, und nicht mit Unrecht ist betont worden, dass eine verhältnismässig geringe Temperaturverminderung genügen würde, die dortige, jetzt nur winterliche Schneedecke zu einer dauernden, allmählich ins riesenhafte anwachsenden zu machen und ein neues Inlandeis entstehen zu lassen.

Aber nicht bloss der Verbreitung und dem Grade der lokalen Entfaltung nach, auch in ihren periodischen Schwankungen bildet die eiszeitliche Vergletscherung ein Analogon des heutigen Gletscherphänomens. Dass auch an den gegenwärtigen Gletschern noch Oscillationen, wenn auch unendlich geringfügigerer Art stattfinden, dass sie zeitweise anschwellen und vorstossen, dann wieder abschmelzen und zurückweichen, war hinlänglich bekannt, dass diesen Schwan-

kungen eine gewisse Periodizität zu Grunde liege, wurde seit langem vermutet. Heute wissen wir, dass eine solche tatsächlich vorhanden ist. Damit nicht genug. Durch Robert Sieger war ermittelt worden, dass auch an zahlreichen abflusslosen Seen noch gegenwärtig Oscillationen stattfinden. An diese Beobachtung knüpfte Eduard Brückner an. An der Hand eines erheblich erweiterten Materials verfolgte er die zeitliche Aufeinanderfolge dieser Wasserstands-Schwankungen an nicht weniger als 45 Seen aus allen Erdteilen und gelangte zu dem Resultat, dass auch sie rhythmisch erfolgen, nämlich einer durchschnittlich 35jährigen Periode unterworfen sind, und in dieser im Wesentlichen gleichzeitig auf der ganzen Erde in ihren Hoch- und Niedrigwasserstand eintreten. Mit diesen Perioden der Seespiegel-Schwankungen aber decken sich — und darin beruht die grosse Tragweite ihres Nachweises — diejenigen der Gletscher-Oscillationen, auch bei ihnen tritt, wie E. Richter speziell für die Alpen-gletscher nachweisen konnte, im Mittel der letzten drei Jahrhunderte eine Periode von 35 Jahren deutlich zu Tage, die Zeiten des Seeschwellens fallen mit denen der Gletschervorstösse, diejenigen des Seenrückgangs mit solchen des Schwindens der Gletscher zusammen. Was wir als eine charakteristische Erscheinung der Diluvialzeit kennen gelernt haben, die grossen intermittierenden Schwankungen der Gletscher und abflusslosen Seen als Ausdruck des Wechsels von Glacial- und Interglacialzeiten, begegnet uns in kleinem Maassstabe, dem Charakter nach aber vollkommen identisch, in den heutigen Gletscher- und Seen-Oscillationen der 35jährigen Periode wieder. Gewiss hat angesichts dessen der Schluss eine hohe Berechtigung, dass allen diesen Schwankungen, den diluvialen sowohl wie den jetzigen, auch ihrer Natur nach gleiche, nur dem Grade nach verschiedene klimatische Ursachen zu Grunde liegen dürften. Diese für die heutigen Oscillationen festzustellen und ihrem Wesen und Betrage nach aufzudecken, ist wiederum Eduard Brückner in seiner grundlegenden Arbeit über „Klimaschwankungen“ gelungen. Durch sorgfältigste Untersuchung der Aufzeichnungen zahlreicher über die ganze Erde verbreiteter mete-

orologischer Stationen, ergänzt durch den genauen Verfolg einer Reihe anderer klimatisch bedingter Erscheinungen gelangte er zu dem Resultat, einmal, dass in der That auch das Klima der Erde im Laufe der letzten Jahrhunderte von derselben 35jährigen Periode wie die Gletscher- und Seeschwankungen beherrscht wird, und zweitens, dass diese Klimaschwankungen darin bestehen, dass innerhalb jeder dieser Perioden auf der ganzen Erde im wesentlichen gleichzeitig die Jahrestemperaturen bis zu einem Maximum steigen und bis zu einem Minimum sinken — der Betrag dieser Temperaturschwankungen beträgt im Mittel für die ganze Erde $\frac{1}{2}$ — 1° C. —, dass ferner als Folge dieser Temperaturveränderungen auch Luftdruck und Winde und mit ihnen die Niederschläge periodischen Veränderungen unterworfen sind. Auf den Landflächen sind die kalten Hälften der 35jährigen Perioden gleichzeitig durch reichere Niederschläge, die warmen dagegen durch Trockenheit ausgezeichnet. Erstere sind die Zeiten des Gletscher- und Seenwachstums, letztere diejenigen des Schwindens beider Phänomene. Nach allem Dem dürfen wir wohl mit Fug und Recht an erster Stelle Temperaturschwankungen und im Gefolge derselben Veränderungen der Niederschlagsmengen, jedoch solche „höheren Grades“ als jetzt, auch als Ursache für die diluvialen Glacial- und Interglacialzeiten annehmen. Für die Richtigkeit dieser Annahme liegen zahlreiche Anhaltspunkte vor. Zunächst rücksichtlich des Hauptfaktors, der Luftwärme. Die Entwicklung einer Waldvegetation, lokal sogar einer Steppenvegetation während der Interglacialzeiten hat das gleichzeitige Herrschen eines gemässigt warmen, dem jetzigen gegenüber zeitweise sogar heissen excessiven Klimas zur Voraussetzung. Andererseits beweisen die zahlreichen Funde arktischer Pflanzen- und Tierreste an den verschiedensten Stellen des norddeutschen Diluviums und ebenso der Schweiz, dass in der Diluvialperiode zeitweise auch beträchtlich niedrigere arktische Temperaturgrade bestanden haben müssen. Reste nordischer Tierformen, die man in den Mittelmeerländern bis nach Süditalien, Sicilien und der Insel Rhodus gefunden hat, bekunden auf das sicherste, dass dieses Eintreten niederer Temperaturen nicht etwa nur

ein lokales gewesen ist, sondern mit einer allgemeinen Wärmeverminderung, einer Verschiebung der Isothermen gegen den Äquator in Verbindung gestanden hat. In dem Meere bei Palermo lebten in einem Abschnitt der Diluvialzeit Muscheltiere, die sich heute nur in der Nordsee und noch weiter nördlich finden. Gewisse pflanzen- und tiergeographische Züge der vorderindischen Halbinsel und des äquatorialen Centralafrika beweisen ferner, dass diese Temperaturerniedrigung sich selbst auf die Tropen erstreckt hat. Erhebliche Schwankungen der Temperaturen sind also für die Diluvialzeit mit Sicherheit anzunehmen. Ebenso liegen aber auch für Oscillationen der damaligen Niederschlagsmengen hinlängliche Anzeichen vor. Es mag an dieser Stelle genügen, auf das mit den Glacialzeiten synchrone Eintreten von Pluvialzeiten ausserhalb der Vereisungsgebiete hinzuweisen, und an das im Gegensatz dazu in den Interglacialzeiten erfolgte Zusammenschrumpfen der abflusslosen Seen des nordamerikanischen Westens zu erinnern.

Selbst über das Mass der damaligen Klimaschwankungen, wenigstens der Temperatur, sind wir in der Lage, uns eine Vorstellung zu verschaffen. Das Mittel dazu bietet die durch Partsch's Methode ermöglichte Feststellung des ungefähren Betrages der eiszeitlichen Depression der Schneelinie gegenüber ihrer heutigen Lage. Wie erwähnt, betrug dieselbe durchschnittlich etwa 1000 m. Nun entspricht im mittleren Europa je 100 m Erhebung eine Wärmeabnahme von $0,59^{\circ}$ C., also etwas über $\frac{1}{2}^{\circ}$. Die damals um 1000 m tiefere Lage der Schneegrenze würde danach, vorausgesetzt dass diese Depression ausschliesslich einer Temperaturerniedrigung auf Rechnung zu setzen wäre, auf eine solche von nicht ganz 6° gegenüber der heutigen schliessen lassen. Nun ist aber die Lage der Schneelinie keineswegs allein von der Wärme abhängig, mehr als durch die Temperatur wird sie durch die Menge des Schneefalls bedingt; es muss deshalb der damals grössere Niederschlagsreichtum zweifellos auch erheblichen Anteil an der Depression der Schneelinie gehabt haben. Eine um 6° niedrigere Jahrestemperatur wäre also der alleräusserte Grad von Kälte, den wir für die Eiszeit in Anspruch zu nehmen brauchen.

Gerade deshalb aber ist seine Feststellung von Wichtigkeit, weil sie uns vergewissert, dass die eiszeitliche Kälte keineswegs eine so exorbitante gewesen ist, wie man vielfach annehmen geneigt ist. Unter Zugrundelegung dieser Schlussfolgerung hätte damals, wie M. Neumayr betont hat, im äussersten Fall z. B. Wien ungefähr die heutige Jahreswärme St. Petersburgs gehabt, Berlin und Leipzig wären um 1° kälter gewesen als St. Petersburg, München wäre etwa mit Hammerfest im nördlichen Norwegen zu vergleichen gewesen. Das sind aber extreme Annahmen. Der wirkliche Betrag der eiszeitlichen Temperaturerniedrigung gegen jetzt dürfte unter Berücksichtigung der erwähnten Mitwirkung der gesteigerten Niederschlagsmengen an der Depression der Schneelinie auf kaum mehr als 3—4 Grad zu veranschlagen sein. Das bedeutet eine Temperaturdifferenz gegen heute, die nur 3—4 mal grösser gewesen wäre, als das von Brückner gefundene Maximum der Wärmeschwankungen innerhalb der jetzigen 35jährigen Periode. Mit einer derartigen Auffassung scheint allerdings auf den ersten Blick die riesenhafte Entwicklung der Inlandeisdecken Nordeuropas und Amerikas unvereinbar zu sein. Der Widerspruch aber löst sich, wenn wir mit Forel berücksichtigen, dass Gletscher und Inlandeis, einmal im Entstehen begriffen, selbst den Keim zu weiterem Wachstum in sich tragen. Durch ihre abkühlende Wirkung auf die umgebende Luft werden sie, je mehr sie sich vergrössern, zu um so wirksameren Condensatoren der atmosphärischen Feuchtigkeit. Die Schneefälle, ursprünglich auf die Firnmulden der Gletscher und die Ursprungsgebiete des Inlandeises beschränkt, sammeln sich bei deren Vorwachsen auf ihnen selbst an, liefern beständig neues Nährmaterial und tragen so zu deren Mehrung und Weiterentwicklung zu schliesslich ganzen Vereisungen bei. Wenn uns Forel weiter zeigt, wie gegenwärtig schon ganz geringfügige Oscillationen der klimatischen Faktoren, Schwankungen der Temperatur von dem Bruchteil eines Grades oder der Niederschläge von nur wenigen Prozenten bereits erhebliche Veränderungen an den Eismassen der Alpengletscher hervorbringen, so bestärkt uns auch diese Wahrnehmung in der

Vorstellung, dass die Witterungserscheinungen der Glacialzeit bei Weitem nicht so unerhört extrem gewesen zu sein brauchen, um die damaligen Gletscher und Inlandeismassen so riesige Dimensionen annehmen zu lassen.

Wie — so schliessen wir mit Supan und Günther — die täglichen und jährlichen Schwankungen des Klimas die einfachsten Formen der das Wechselspiel der klimatischen Faktoren regelnden Periodizitäten sind, und wie sich deren nächst höherer Grad in den Brücknerschen 35jährigen Perioden ausspricht, so giebt es allem Anschein nach Oscillationen noch höherer Ordnung von stets sich verlängernder Dauer und gesteigerter Intensität, die in letzter Instanz nur noch in nach Zahlen nicht mehr ausdrückbaren geologischen Zeiträumen zur Geltung kommen. Klima-Oscillationen dieser Art scheinen diejenigen der Eiszeit zu sein. Welche Ursachen allerdings diesen mächtigeren Klimaschwankungen zu Grunde liegen — dieser Frage stehen wir heute noch ratlos gegenüber. Die Bezugnahme auf die Jetztzeit, die uns bis hierher so gute Dienste geleistet hat, lässt uns im Stich: auch die Ursache der jetzigen, 35jährigen Klimaschwankungen entzieht sich unserer Kenntniss bis heute vollkommen. Nur vermutungsweise dürfen wir äussern, dass die Endursache vielleicht in der Wärmespenderin unserer Erde, in der Sonne liege, und in Oscillationen der Strahlungsstärke derselben beruht, vielleicht auch in Änderungen des Verhaltens der Erdatmosphäre zur Ein- und Ausstrahlung infolge zeitweise stärkerer Anreicherung derselben mit Kohlensäure oder Wasserdampf, wofür Svante Arrhenius und De Marchi neuerdings plädieren — aber Alles dies sind noch blosse Vermutungen. Die Lösung des Problems der Eiszeit bleibt der Zukunft vorbehalten. Trotzdem aber ist die Arbeit der letzten 20 Jahre nicht vergebens gewesen. Einen wichtigen Schritt vorwärts bedeutet es schon, dass über den Gang der eiszeitlichen Ereignisse und deren Natur in der Hauptsache Klarheit geschaffen ist, und dass damit eine sichere Grundlage gewonnen ist, auf welcher künftige Forschungen nach den Ursachen der Eiszeit weiter zu bauen vermögen. Namentlich mit drei jetzt feststehenden Thatsachen wird jede brauchbare Theorie rechnen

müssen: erstens, mit der Allgemeinheit des Vereisungsphänomens auf der ganzen Erde, zweitens mit der mehrfachen periodischen Wiederkehr desselben, und drittens mit dessen gleichzeitigem Eintritt auf der Nord- und Südhemisphäre, in höheren Breiten wie am Äquator. Von den zahlreichen bisher aufgestellten Hypothesen wird diesen Thatsachen keine einzige gerecht. Nicht nur die verschiedenen Versuche, die diluvialen Vergletscherungen durch lokale Ursachen zu erklären, auch die ungleich wichtigere Gruppe, welche gewisse kosmische Vorgänge, nämlich Veränderungen der Excentricität der Erdbahn, der Schiefe der Ekliptik und der Lage der Erdaxe zum Ausgangspunkt hat — alle diese Hypothesen scheitern an dem Umstand, dass sie keine allgemeine, sondern nur eine alternierende Vergletscherung der beiden Erdhälften zur Voraussetzung haben. Eine Vorfrage aber wird vor allen weiteren Erklärungsversuchen zunächst ihre Beantwortung finden müssen, die nämlich, ob die Eiszeit eine auf die Diluvialperiode beschränkte Erscheinung war, oder ob sie sich periodisch auch in älteren Zeiten der Erdgeschichte wiederholt hat? Gewichtige Anzeichen sprechen für eine Lösung der Frage in letzterem Sinne. In den verschiedensten Ländern der Erde und in Formationen verschiedensten Alters vom Cambrium bis zum Tertiär sind Ablagerungen angetroffen worden, Conglomerate namentlich und Breccien, welche ihrem ganzen Habitus nach auf glaciale Entstehung schliessen lassen und von einer Anzahl von Geologen mit damals herrschenden Eiszeiten in Verbindung gebracht sind. Der hervorragende englische Glacialforscher James Croll glaubt sich bereits zu dem Schluss berechtigt, dass jede grosse Erdperiode ähnlich wie die quartäre von einer Reihe von Eiszeiten und Interglacialzeiten heimgesucht worden sei. Noch aber stehen dieser Annahme mehrfach wiederkehrender Vergletscherungen in früheren Perioden namhafte Geologen zweifelnd gegenüber. Erst wenn hier Klarheit geschaffen ist, wird die Zeit gekommen sein, in welcher man mit Aussicht auf Erfolg der endgültigen Lösung der Frage nach der Ursächlichkeit der Eiszeiten näher treten kann.