

Zur Klimatologie des Eiszeitalters.

Von

Prof. Dr. Fritz Machatschek (Wien).

Vortrag, gehalten am 13. März 1935.





Eine Untersuchung über die klimatischen Erscheinungen und Veränderungen, die zum Eintritt einer Eiszeit und zu dem das Eiszeitalter charakterisierenden mehrfachen Wechsel von Eiszeiten und Zwischeneiszeiten geführt haben, muß vorher eine Reihe von Erkenntnissen zu gewinnen trachten, um den klimatischen Effekt möglichst rein und durch lokale und regionale Einflüsse ungetrübt zu erhalten. Wir müssen zunächst die Frage beantworten, ob sich die Erscheinungen des Eiszeitalters auf der ganzen Erde gleichzeitig und in ungefähr gleicher Weise und Intensität abgespielt haben, dann, ob das heutige Erdbild schon im Eiszeitalter in den Hauptzügen vorhanden war, d. h. ob die heutige Verteilung von Land und Meer und auch die heutigen Relief- und Höhenverhältnisse bereits gegeben waren, ferner ob sich seither die gegenseitige Lage von Kontinenten und Ozeanen verändert hat, endlich ob die Lage der Pole die gleiche war wie heute. Die erste Frage ist bis vor kurzem sehr verschieden beantwortet worden. Unter dem Einfluß jener Lehren, die das Eiszeitphänomen nur auf astronomische Ursachen zurückführen wollen, von denen noch die Rede sein soll, vermutete man ein alternierendes Verhalten der beiden Hemisphären derart; daß eine Eiszeit auf der einen Halbkugel mit einer Interglazialzeit auf der anderen zusammenfalle. Ist das richtig, dann dürften

die äquatornahen Gebirge überhaupt keine Eiszeitspuren besitzen, und es müßten die Ablagerungen und Formen der letzten Vereisung in den beiden Halbkugeln einen verschiedenen Grad der Verwitterung, bzw. des Erhaltungszustandes aufweisen. Keines von beiden ist der Fall. Wie namentlich die Untersuchungen in Südamerika gezeigt haben, lassen sich hier die Eiszeit Spuren von 56° S über den Äquator hinweg ohne Unterbrechung bis 12° N und weiter nach Nordamerika hinein in genau der gleichen Frische verfolgen, so daß sie nur das Ergebnis einer einheitlichen und gleichalten Vergletscherung sein können. Aber auch andere tropische Hochgebirge tragen Eiszeit Spuren, wie die afrikanischen Riesenvulkane Kilimandscharo, Kenia und Meru und die Hochscholle des Ruwensori. Diese Tatsachen sind ein unwiderleglicher Beweis für die Gleichzeitigkeit der Perioden des Eiszeitalters und gegen eine abwechselnde Vereisung der beiden Halbkugeln. Ein weiteres Argument im gleichen Sinn ist der gleiche Rhythmus der diluvialen eustatischen Meeresspiegelschwankungen, die durch den abwechselnden Entzug von Wasser aus dem Ozean und seine Bindung auf dem Land in Form von Inlandeismassen und die Rückgabe desselben an den Ozean bewirkt wurden. Wenn die Vergletscherungen auf den beiden Halbkugeln abgewechselt hätten, so hätte niemals der Meeresspiegel jenen Hochstand erreichen können, wie ihn die scheinbar gehobenen Riffe anzeigen. Aber auch gewisse Modifizierungen dieser

Hypothese der alternierenden Vergletscherungen haben wenig Berechtigung. Man dachte an eine thermische Beeinflussung der südlichen Halbkugel durch die großen Inlandeismassen der Nordhalbkugel, derart, daß durch diese das Klima der Südhalbkugel ozeanischer; die Sommer kühler, bzw. die Erwärmung verzögert wurde. Pilgrim ging sogar so weit, zu behaupten, daß nur wegen dieser Inlandeiswirkungen eine geologische Eiszeitperiode für beide Halbkugeln gleichzeitig bestehen konnte. Wenn das zuträfe, dann hätte ja die Südhalbkugel im Diluvium überhaupt immer nur Vergletscherungen haben müssen, einmal astronomisch bedingt, dann durch die klimatische Influenzwirkung der Nordhalbkugel. Daß eine derartige Beeinflussung eintreten mußte, soll nicht bestritten werden; aber sie kann nur eine gewisse Verstärkung der autonomen Ursachen für die Südhalbkugel bedeutet haben, deren Größe nicht abzuschätzen ist, und man wird doch nicht behaupten können, daß etwa auch die eiszeitliche Vergletscherung in Tasmanien und auf Neuseeland nur auf solche Relaiswirkungen zurückgeht.

In seiner Untersuchung über die Eiszeit als meteorologischer Zyklus hat Paschinger den Satz aufgestellt, daß Gebirge in ozeanischer Lage früher vergletschert wurden als solche in kontinentaler und daß in niedrigeren Gebirgen die Vergletscherung einen rascheren Verlauf nahm als in höheren; es konnte also in jenen das Wachstum schon beendet

gewesen sein, in diesen aber noch fortbestanden haben. Der Gedankengang von Paschinger, dem sich auch Klute angeschlossen hat, ist ungefähr der folgende: Wenn infolge einer Klimaverschlechterung die Schneegrenze in den Gürtel der maximalen Schneefälle herabsinkt, so muß sie eine besonders rasche Erniedrigung erfahren. Diese Zone maximaler Schneefälle liegt ebenso wie die der maximalen Niederschläge überhaupt in den ozeanischen Gebirgen tiefer als in den kontinentalen. So liegt z. B. in den Alpen heute die Maximalzone der Schneefälle etwa 400 bis 500 m tiefer als die Schneegrenze, in kontinentalen Gebirgen soll sie etwa mit dieser zusammenfallen oder sogar über ihr liegen. Wenn nun die Schneegrenze infolge einer Abkühlung des Klimas sinkt, so gerät sie in ozeanischen Gebirgen bald in den Gürtel der maximalen Schneefälle; es tritt also hier früher Vergletscherung ein als dort, wo die Schneegrenze erst später in den gleichfalls sich senkenden Gürtel der maximalen Schneefälle gelangt. Nun wissen wir aber über die Höhe dieser Maximalzone des Niederschlages sehr wenig und namentlich in den gemäßigten Zonen, wo eine Einheitlichkeit der Regenwetterlagen, wie sie in den Passat- und Monsungebieten besteht, nicht mehr vorhanden ist, läßt sich eine solche Zone überhaupt nicht mit Sicherheit nachweisen, wie besonders die jüngsten Totalisatormessungen in den Schweizer Alpen ergeben haben. In den ganzen Alpen scheint diese Zone jedenfalls

oberhalb der Schneegrenze zu liegen. In den kontinentalen Gebirgen dürfte der gewisse Waldgürtel, der eine untere Steppenregion von einer oberen trennt, ihrer Lage entsprechen. Er liegt z. B. im nördlichen Tienschan zwischen 2000 und 2800 m, d. i. ungefähr in der Höhe der Winterwolken, also gewiß unter der bei etwa 3400 m anzusetzenden klimatischen Schneegrenze. Es besteht also hier gerade das umgekehrte Verhalten, als Paschinger und Klute annehmen. Es ist daher dieser Begriff der Maximalzone der Schneefälle überhaupt wenig geeignet, um über den Verlauf und das relative Ausmaß einer Vergletscherung und über ihre verschiedenen Eintrittszeiten Aufschluß zu geben.

Von Interesse sind endlich für diese Frage die Beobachtungen über das gegenseitige Verhalten der einzelnen Teilströme des nordamerikanischen Inlandeises. Leverett glaubt gefunden zu haben, daß in der letzten Eiszeit, dem Wisconsin, und vielleicht auch im Illinoian zuerst der Labrador-Eisstrom, dann das Patrician- und zuletzt das Keewatineis den Maximalstand erreichten. Nach Tyrrel zog sich das Labradoreis schon zurück, während das Keewatineis noch beträchtlich vorging. Aber diese Ungleichzeitigkeiten hängen offenbar mit den verschiedenen Höhenverhältnissen und Ernährungsgrundlagen der einzelnen Zentren und den dadurch bedingten Stauungserscheinungen zusammen und besagen nichts für einen wellenartigen Verlauf des Vereisungsganges

etwa von ozeanischer zu kontinentaler Lage. Ebenso hypothetisch sind die Annahmen über Veränderungen der Höhenlage der einzelnen Ursprungsgebiete des nordamerikanischen Inlandeises seit dem Diluvium. Wir dürfen es daher als vollkommen gesichert aussprechen, daß der Ablauf des Eiszeitalters mit allen seinen Schwankungen auf der ganzen Erde gleichartig und synchron vor sich ging.

Kurz können wir die Frage nach der Verbreitung von Wasser und Land im Eiszeitalter abtun. Die großen Züge derselben, also auch die Umrise der Kontinente und damit die Verteilung der Hoch- und Tiefdruckgebiete, waren gewiß die gleichen wie heute, wenn auch noch während des Diluviums nicht unbedeutende Strandverschiebungen im positiven und negativen Sinne stattgefunden haben. Was Europa betrifft, so gab es schon vor dem Eiszeitalter einen Nordatlantik und eine Nordsee und damit auch eine warme atlantische Trift, wie gerade die starke Vergletscherung der Britischen Inseln und Skandinaviens beweist. Damit ist übrigens auch der Annahme von Wegener, daß erst im Eiszeitalter die Ablösung Nordamerikas von Nordeuropa eingetreten sei, jeder Boden entzogen. Hingegen ist vermutlich die Entstehung des ägäischen und pontischen Einbruchs bis zum heutigen Umfang erst entweder kurz vor dem Diluvium oder während dessen älteren Phasen vollendet worden, so daß das Klima dieser Gegenden damals noch kontinentaler gewesen sein dürfte. Auch

die Adria war vermutlich damals kleiner als heute. Aber zumindestens für die letzte Eiszeit müssen wir schon mit dem heutigen Küstenverlauf im großen rechnen. Von den anderen Kontinenten und Meeren gilt das gleiche, so daß diese Frage bei der Beurteilung des diluvialen Klimas gewiß keine irgendwie beachtenswerte Rolle spielt und höchstens für lokale Beeinflussung herangezogen werden kann.

Wichtiger ist die Frage nach der vordiluvialen Höhenverteilung und Reliefgestaltung. Immer wieder taucht die Behauptung auf, daß die diluvial vergletscherten Gebirge vor Eintritt der Vereisung höher waren als heute, ohne daß ein Beweis hiefür versucht würde, oder daß erst die vor und während des Eiszeitalters eingetretene Hebung die Vergletscherung ermöglicht habe. So wird angenommen, daß Skandinavien vor der ersten Eiszeit um viele hundert Meter höher lag als heute. Lepsius glaubte die von ihm angenommene einmalige Vergletscherung der Alpen auf eine Hebung um 1300 bis 1500 m zurückführen zu können, der dann wieder eine Senkung um etwa denselben Betrag in zwei Etappen gefolgt sei, auch das ohne den Schatten eines Beweises. Merzbacher verlegte die Hebung des Himalaja, Karakorum und Kunlun erst an das Ende des Eiszeitalters, um die von ihm behauptete gewaltige Vergletscherung des zentralen und östlichen Tienschan aus dem Hereinreichen des indischen Monsuns nach Zentralasien und die rasche Abnahme dieser Ver-

gletscherung und die Austrocknung der zentralasiatischen Gebirge durch die Absperrung vom Monsuneinfluß erklären zu können. Sogar Cvijić zog zur Erklärung der Vergletscherung der mazedonischen Gebirge eine starke präglaziale Hebung heran. Schließlich ist in diesem Zusammenhang auch die sogenannte Reliefhypothese von W. Ramsay zu nennen, die eine Verknüpfung des Eiszeitphänomens in der ganzen geologischen Geschichte der Erde mit den großen orogenetischen Perioden nachzuweisen versucht. Ihr Inhalt ist ungefähr der folgende: Eine jede gebirgsbildende Periode verstärkt das Relief der Erdoberfläche beträchtlich und ziemlich rasch. Gebirge und Steilküsten, die sich in der Bahn der herrschenden Winde erheben, erhalten reichlichere und häufigere Niederschläge, die vertikale Zirkulation der Atmosphäre wird verstärkt, die Wärmekonvektionsströme der Meere werden hochgradig beeinflusst. Alles das führt in den über die Schneegrenze aufragenden Regionen zur Bildung von Gletschern und schließlich von Inlandeismassen. In den Perioden tektonischer Ruhe sind die Gebirge zu Rumpfflächen abgetragen, die früher eisbedeckten Gebiete sinken wieder unter die Schneegrenze. Da weniger Wärme zum Schmelzen verbraucht, die Veranlassung zur Kondensation seltener, die Luftzirkulation einfacher und regelmäßiger wird, so steigert sich der Wärmevorrat der Atmosphäre. Es fällt also der Wechsel von orogenetischen und anorogenetischen Perioden zusammen mit einem

solchen von miothermen und pliothermen Perioden, die Eiszeiten bedeuten nur eine Steigerung der miothermen, die Interglazialzeiten nur vorübergehende Verbesserungen der miothermen Verhältnisse infolge von Umgestaltungen des Reliefs und Niveauverschiebungen. So wichtig nun der Einfluß des Reliefs auf das Ausmaß der Vergletscherung ist und der Verlauf und die Höhe von Gebirgen Klima und Luftströmungen in hohem Maße zu modifizieren vermag, so ganz unmöglich ist es, mit dieser Reliefhypothese das diluviale Eiszeitalter oder gar auch die älteren Eiszeiten der Erde erklären zu wollen. Ein Parallelismus zwischen Orogenesen und miothermen Perioden, bzw. Eiszeiten besteht gar nicht. Die permokarbone Eiszeit hat sich gerade auf der Südhalbkugel am stärksten ausgewirkt und in Gebieten, wo die herzynische Gebirgsbildung kaum oder jedenfalls nicht im Aufbau hoher Gebirge wirksam war, wie in Indien, Südafrika und Brasilien. Die diluviale Vergletscherung betraf völlig kratogene Gebiete, wie das laurentinische Massiv, ebenso wie junge Hochgebirge, und vor allem ist der mehrfache Wechsel von Eiszeiten und Zwischeneiszeiten doch nicht mit einem ebensooft wiederholten Wechsel von Hebung und völliger Abtragung der betreffenden Gebirge Hand in Hand gegangen. Nicht besser steht es mit gewissen Modifikationen dieser Reliefhypothese, wie dem Erklärungsversuch von Enquist, wonach die Eiszeiten durch hypothetische Senkungen des Meeresspiegels um etwa 500 m infolge von lokalen

Einsenkungen des Meeresbodens herbeigeführt worden sein sollen. Es ist daher recht sonderbar, daß ein sonst so ernster Forscher wie Paschinger noch 1923 es als ganz berechtigt bezeichnen konnte, daß Abnahme und Ende einer Vergletscherung auch auf die eiszeitliche Denudation höher gelegener Flächen zurückgeführt werden, wie das etwa Meunier für die Vogesen getan hat.

Für die uns hier interessierende Frage der klimatischen Ursachen einer Vergletscherung kommt aber das Ausmaß junger Krustenbewegungen aus folgender Überlegung heraus in Betracht. Wir wissen, daß sehr viele Gebirge der Erde erst im Eiszeitalter ihre heutige Höhe erreicht haben. In den Schweizer Alpen betrug diese diluviale Hebung bis zu etwa 500 m, im Himalaja vielleicht mehr als 1000 m, wie die sehr bedeutende tektonische Verstellung diluvialer Terrassen beweist. Auch die skandinavischen Hochgebirge dürften sich, ganz abgesehen von den isostatischen Auf- und Abwärtsbewegungen, während des Eiszeitalters noch um einige hundert Meter gehoben haben. Für die Anden von Bolivien schätzt Troll den Betrag einer bloß interglazialen Hebung auf 800 bis 1000 m. Es ist einleuchtend, daß in allen diesen Fällen, wo diluviale Hebungen erwiesen sind, die Bestimmung der eiszeitlichen Schneegrenze sich nicht auf das heutige, sondern ein um den Betrag der seither eingetretenen Hebung niedrigeres Gebirge bezieht, das klimatologische Ausmaß der Vergletsche-

rung also ein viel größeres war, als aus der Bestimmung der Schneegrenze und ihrer seither erfolgten Hinaufrückung sich zu ergeben scheint. Für die letzte Eiszeit allerdings darf man wohl überall schon ungefähr mit den heutigen Höhenverhältnissen rechnen, der Betrag der Hebung seit dem Schwinden der letzten Vergletscherung war gewiß überall recht unbedeutend. Das ist ein Grund mehr, für alle ähnlichen Betrachtungen nur die letzte Eiszeit zugrunde zu legen.

Was endlich die Polverlagerungen während des Eiszeitalters betrifft, so kommen wir auf diese Frage in einem anderen Zusammenhang zurück.

Nach diesen Vorbetrachtungen wenden wir uns unserem eigentlichen Thema, dem Klima des Eiszeitalters, zu. Zu seiner Beurteilung stehen uns zwei Wege offen: einmal die Untersuchung von Flora und Fauna als Klimaanzeiger der einzelnen Perioden, dann aber die Betrachtung der eingetretenen Klimaänderungen aus dem Ausmaß der Gletschervorstöße und -rückzüge, wobei vor allem die Höhe der Schneegrenze, allerdings mit der eben erwähnten Einschränkung, als Maßstab dienen kann.

Mit der eiszeitlichen Fauna ist im allgemeinen nicht viel anzufangen, schon wegen der mehr oder weniger großen Anpassungsfähigkeit der Tiere an geänderte klimatische Verhältnisse und wegen ihrer verschiedenen Eurythermie und Stenothermie. Es sei

aber in diesem Zusammenhang doch verwiesen auf das allmähliche Vordringen borealer und arktischer Konchylien und die Verdrängung wärmeliebender Formen beim Übergang vom Pliozän ins Diluvium in den Ablagerungen der Nordsee in Südengland, den sogenannten crags, ferner auf das Wiedererscheinen atlantischer und sogar lusitanischer Formen in den Ablagerungen der interglazialen Eemschichten in Holland, Dänemark und Norddeutschland, auf den mehrfachen Wechsel der typischen Vergesellschaftung von Elephas- und Rhinocerosformen in den glazialen und interglazialen Ablagerungen im Umkreis der Alpen und namentlich auf die Beschaffenheit der Lößsäugerfauna, die durchaus mit der der subarktischen Steppen Osteuropas und Nordasiens übereinstimmt, ein wichtiges Argument für das glaziale und gegen das interglaziale Alter des mittel- und westeuropäischen Lösses, wie das besonders S o e r g e l betont hat. Aber einen Maßstab für die zahlenmäßige Erfassung der Klimaänderungen innerhalb des Eiszeitalters gewinnen wir aus allen diesen Funden kaum. Man könnte höchstens etwa auf Grund des Fossilgehaltes der Eemschichten sagen, daß das Wasser der Nordsee in der letzten Interglazialzeit um rund 7 bis 8° wärmer war als in der letzten Eiszeit. Vielleicht wird durch eingehendere Untersuchungen der Wärmebedürfnisse gewisser Formen, namentlich der Schalthiere, es möglich sein, einmal diese Veränderungen der Lebensbedingungen genauer zu erfassen.

Konkretere Angaben gewinnen wir aus der Untersuchung der diluvialen Floren. Nach der Auffassung der überwiegenden Mehrzahl kompetenter Forscher sind die Glazialfloren Mitteleuropas vor allem durch Baumlosigkeit oder wenigstens Baumarmut gekennzeichnet und hatten den Charakter der Tundra oder arktischen Strauchsteppe, wie wir sie namentlich für das Zwischengebiet zwischen der nord-europäischen und der alpinen Vergletscherung in jeder Eiszeit als vorherrschende Vegetationsformation annehmen müssen. Auch die großen Schotter- und Moränenfelder des nördlichen Alpenvorlandes hatten in jeder Eiszeit eine Zwergstrauchvegetation, wie sie etwa in den Tonen eines glazialen Stausees bei Dübendorf im Kanton Zürich fossil erhalten ist. Setzt man mit Penck den Vertikalabstand zwischen Schneegrenze und Baumgrenze in jeder Eiszeit gleich dem gegenwärtigen, was ja durchaus berechtigt ist, also in Mitteleuropa zu etwa 800 m, dann ergibt sich, daß nur die sommerwärmsten Gebiete Mitteleuropas, nämlich Teile der oberrheinischen Ebene, die tiefsten Teile des Elbebeckens und die mährischen Ebenen in der Eiszeit Waldgebiete gewesen sein können. Auch die interglazialen Schieferkohlen der Alpen lassen eine zunehmende Verarmung des Waldes mit dem Herannahen einer neuen Vergletscherung erkennen. Aus der Verbreitung von *Salix polaris* ließe sich ferner mit W e r t h für das eisfreie Gebiet Mitteleuropas auf eine Erniedrigung der Jahresmitteltemperatur gegen-

über der Gegenwart von etwa 6 bis 10° C schließen; wir werden aber sehen, daß dieser Betrag gewiß zu hoch ist.

Waldgebiete während der Vereisungen haben wir vor allem im mediterranen Gebiet Europas und auch noch auf der Südseite, vielleicht auch auf der Südostseite der Alpen anzunehmen. In den Interglazialzeiten drang dieser südalpine Wald mit kolchisch-pontischen und illyrischen Formen wieder in die Alpentäler ein. Der interglaziale Wald auf der Nordseite der Alpen hatte, wie wiederum die Schieferkohlen zeigen, baltischen Charakter, im Innern der Alpen bestand eine Mischung beider Typen, wie namentlich die Flora der berühmten Höttinger Breccie bei Innsbruck lehrt. Sie verlangt aber nach dem Vorkommen von *Rhododendron ponticum* in 1150 m Höhe eine um 3° höhere Jahrestemperatur und damit eine um etwa 500 m höhere Lage der Schneegrenze, als heute für diese Stelle gilt. Die starke Verschüttung durch Murgänge und Schutthalden, die in dieser Zeit die Nordgehänge des Inntales und auch andere Täler der Nördlichen Kalkalpen erfuhren und die von der normalen Abtragung und Flußerosion nicht bewältigt und fortgeschafft werden konnten, erfordert, wie Ampferer ausgeführt hat, die Annahme eines halbariden und zugleich warmen Klimas. Die innersten, auch heute noch recht trockenen Alpentäler hatten also in der Mindel-Riß-Interglazialzeit, der die Höttinger und viele andere Gehängebreccien ange-

hören, den Charakter von halbsteppenhaften Landschaften mit starker Schuttbildung und gelegentlichen heftigen Niederschlägen und Spülregen. Von diesen wurden vermutlich die feinen Schlamm lager zwischen den Brecciensichten abgelagert, in denen uns die Pflanzen von Hötting aufbewahrt wurden. Andererseits weist die Flora der zahlreichen Schieferkohlschichten der Alpen auf ein warmfeuchtes Klima hin. Allerdings gehören diese Bildungen in vielen Fällen dem Riß-Würm-Interglazial an und im übrigen war gewiß auch das Klima der langen Interglazialperioden kein ganz gleichartiges, sondern in den einzelnen Abschnitten auch am gleichen Orte recht verschieden. Es muß eben sowohl die Lage als auch die Bildungszeit der einzelnen Ablagerungen für die Beurteilung der jeweiligen Klimaverhältnisse in Rücksicht gezogen werden.

Mit dem von Fauna und Flora gelieferten Material kommen wir also über eine allgemeine Charakterisierung des Klimas der einzelnen Diluvialperioden nicht hinaus. Vor allem bleibt immer noch die Frage offen: War das Klima einer jeden Eiszeit nur kälter oder war es wesentlich nur feuchter als die Gegenwart oder waren beide Faktoren, Temperatur und Niederschlag, an der Klimaänderung beteiligt? Für die zweite Möglichkeit, nämlich gleiche oder wenigstens nicht wesentlich verschiedene Temperatur wie in der Gegenwart, aber sehr große Niederschläge, also ein extrem ozeanisches Klima, ist namentlich H.

Brockmann-Jerosch eingetreten, unter anderem mit der Begründung, daß die Unregelmäßigkeiten in der Ausdehnung der einzelnen eiszeitlichen Gletscher während des Rückzuges auf einen Faktor hinweisen, der auf größere Distanzen nicht gleichmäßig, sondern lokal wirkt, und das könne nur der Niederschlag sein. Aber nach dem heutigen Stand unserer Kenntnisse bestehen derartige Unregelmäßigkeiten an den Alpengletschern gar nicht; sie zogen sich vielmehr ihrer Größe und Auslage entsprechend in gleichen Maßen, quantenweise zurück. Als biologisches Argument für seine Auffassung verwies Brockmann zunächst auf die Pflanzenreste in den Schottern bei St. Jakob an der Birs, die eine mit der heutigen identische Flora enthalten. Diese Schotter hielt Brockmann für würmeiszeitlichen Niederterrassenschotter, Penck mit guten Gründen für interglazial; sie scheiden also jedenfalls für eine strenge Beurteilung der Frage aus. Daß auch dem von Brockmann später im gleichen Sinn ausgewerteten Delta von Güntenstall bei Uznach keine Beweiskraft zukomme, haben Penck und auch andere schweizerische Forscher, wie namentlich J. Weber, ausführlich dargetan. Der Versuch, das eiszeitliche Klima nur oder auch nur überwiegend durch eine Mehrung der Niederschläge zu charakterisieren, würde übrigens zu ganz unmöglichen Größen des Niederschlags in der Hochregion während der Eiszeiten führen. Es kann also diese Auffassung, die in dem Schluß gipfelt,

die Flora des Alpennordrandes sei in allen Stadien der letzten Eiszeit dieselbe gewesen wie heute, nämlich eine sommergrüne Laubwaldvegetation mit Eichenwäldern am Saume der diluvialen Gletscherzungen, als durchaus unbegründet zurückgewiesen werden.

Für die entgegengesetzte Form der Beantwortung, jede Eiszeit vor allem als eine Kälteperiode aufzufassen, die diluviale Gletscherentwicklung also durch eine Minderung der Sommerwärme zu erklären, ist vor allem Penck eingetreten. Er verweist zunächst darauf, daß, wie schon E. Richter beobachtete, die durch die eiszeitliche Schlifffgrenze angezeigte Oberfläche der diluvialen Talgletscher der Alpen mit der Oberfläche der heutigen Firngrenze zusammenfalle. Es waren also die heutigen Firnfelder während der Eiszeiten nicht stärker gefüllt als gegenwärtig, die eiszeitlichen Gletscher waren Anschwellungen der Zungen, nicht der Firnfelder. Allzu große Bedeutung dürfen wir aber diesem Argument nicht beilegen. Denn Beobachtungen über die Höhe der Schlifffgrenze oberhalb der Firnlinie sind außerordentlich schwierig und auch tatsächlich kaum irgendwo systematisch angestellt worden. Findet man andererseits irgendwo das Gegenteil von der von Penck gemachten Aufstellung, nämlich Schliffflächen hoch über den heutigen Firnfeldern, so kann dies auch dadurch erklärt werden, daß die Firnbecken seit der Eiszeit durch glaziale Erosion tiefer gelegt, also aufnahmefähiger geworden sind. Übrigens muß jede Minderung der

Sommerwärme auch bei gleichbleibenden Jahressummen des Niederschlags doch auch eine Vermehrung des Anteiles des Schnees am Gesamtniederschlag mit sich bringen, und zwar auch noch im Firngebiet der heutigen Gletscher, solange nur nicht der gesamte Niederschlag in fester Form fällt. Es mußten also doch auch unter dieser Annahme die Firnfelder in der Eiszeit stärker gefüllt sein als gegenwärtig.

Einen zahlenmäßigen Ausdruck für die seit der letzten Eiszeit eingetretene Klimaänderung gewinnen wir aus der Bestimmung der Depression der Schneegrenze, d. h. aus der Differenz zwischen der letzteiszeitlichen und der rezenten Schneegrenze, welche Größen sich trotz allen den Methoden ihrer Bestimmung anhaftenden Fehlerquellen und Unsicherheiten doch mit leidlicher Genauigkeit ermitteln lassen. Für die Alpen ergab sich ein konstanter Wert von 1200 bis 1300 m, und zwar auch für die niederschlagsreichen Randgebiete. Wenn nun, so schloß Penck, in der Eiszeit die Niederschläge absolut ansehnlich verstärkt gewesen wären, so hätte diese Vermehrung vor allem die feuchtern Randgebiete betreffen, die Depression der Schneegrenze also hier größer sein müssen als in den trockeneren Innengebieten. Wenn sie in den trockenen Gurktaler Alpen ausnahmsweise nur 900 m betrug, so erklärt sich dies daraus, daß in der Eiszeit die Kondensation der Niederschläge in der Umrahmung dieser Gruppe infolge der Temperaturniedrigung schon in geringerer Höhe erfolgte

als heute; es konnte also noch weniger Niederschlag zu den Gurktaler Alpen gelangen, sie waren sogar trockener als heute.

Eine weitere Auswertung der Größe der Depression der Schneegrenze auch in anderen Gebirgen zum Zwecke der Beurteilung des eiszeitlichen Klimas habe ich schon vor mehr als 20 Jahren unternommen, angeregt durch meine Beobachtungen im westlichen Tienschan. Es ergab sich für die Gebirge der Nordhalbkugel in mittleren Breiten (40 bis 50° N), daß, wie schon Partsch für Mitteleuropa es vermutet hat, aber entgegen der damals von Brückner vertretenen Auffassung, dieser Wert von den ozeannahen Gebirgen gegen das Innere der Kontinente abnimmt und daher in den trockensten Gebirgen (Zentralasien, Great Basin Nordamerikas) die geringsten Beträge (500 bis 600 m) erreicht. Ferner ergab sich, daß in jedem einzelnen Gebirge die Depression der Schneegrenze von Westen nach Osten abnimmt. Dieses verschiedene Verhalten habe ich damals so zu erklären versucht, daß die Temperaturdepression als die für die ganze Erde gemeinsame und primäre Ursache jeder Eiszeit in den Trockengebieten am reinsten zur Geltung komme, so daß hier keine Steigerung der Niederschläge, sondern nur eine Minderung der Sommerwärme, also eine Verlängerung der Frostperiode und Verringerung der Verdunstung eintrete. In den ozeannahen Gebirgen der Alten Welt aber mußte das über dem Inlandeis mehr oder weniger

konstant lagernde Hochdruckgebiet ebenso wie heute über Grönland die Tendenz zu feuchten westlichen und südwestlichen Winden besonders im Sommer verstärken. Damit war eine absolute Steigerung der Niederschläge in diesen Gebieten verbunden, so daß eine wesentlich größere Depression der Schneegrenze sich ergibt als in den Trockengebieten, wo noch stärker als heute die trockenen Nord- und Nordostwinde überwogen. Diese von mir gefundene Gesetzmäßigkeit in der Abnahme der Depression der eiszeitlichen Schneegrenze landeinwärts ist seither durch alle weiteren Beobachtungen bestätigt worden.

Später hat Klute das Problem aufgegriffen und in einer Reihe von Aufsätzen mit demselben Ergebnis behandelt, dabei auch die Verhältnisse in sehr hohen Breiten und in den Tropen herangezogen. Überall zeigte sich, daß die Depression der Schneegrenze dort abnimmt, wo in der Gegenwart die Niederschläge gering sind.¹⁾ Was aber die Gründe für diese örtlich verschieden große Herabdrückung der eiszeitlichen Schneegrenze betrifft, so kam Klute zu etwas an-

¹⁾ Ich kann es mir nicht versagen darauf hinzuweisen, daß die von Klute (1928) gebrachte Zitierung meines Hauptergebnisses irreführend ist. Ich habe nicht festgestellt, daß „die rezente und eiszeitliche Schneegrenze von den feuchten zu den trockenen Gebieten steigt“, was längst bekannt war und übrigens selbstverständlich ist, sondern daß der Abstand beider Linien landeinwärts abnimmt, was bisher nicht bekannt war und auch nicht, wie man aus Klutes Darstellung entnehmen könnte, von ihm gefunden wurde.

deren Anschauungen. Er meinte zunächst, daß ein gleichmäßiges Sinken der Temperatur schon deshalb eine verschieden große Depression der Schneegrenze hervorbringen müsse, weil in den trockenen Gebieten eine geringere Menge festen Niederschlages falle als in den feuchten; die Schneedecke ist daher in jenen weniger dick und wird von der sommerlichen Wärme früher und höher hinauf aufgezehrt, zumal hier die längere Sonnenscheindauer und geringere Luftfeuchtigkeit das Schmelzen begünstigt. So richtig diese Argumentation an sich ist, so glaube ich doch, daß auf diese Weise allein die große Differenz der Depression der eiszeitlichen Schneegrenze in den ozeannahen und den rein kontinentalen Gebirgen nicht erklärt werden kann. Ergeben doch auch tropische Gebirge, wie die afrikanischen Riesenvulkane, trotz der hier gewiß großen Lufttrockenheit und Sonnenscheindauer, mit einer Schneegrenzdepression von etwa 800 bis 900 m immer noch einen größeren Wert als Zentralasien mit bloß 500 bis 600 m. Was Klute über den Einfluß der verschiedenen Höhenlage der Zone des maximalen Niederschlags auf die Depression der Schneegrenze ausführt, ist weniger wesentlich, da wir, wie schon früher bemerkt, über die Höhenlage dieser Zone nichts Sicheres wissen. Vor allem ist es gewiß unrichtig, daß in mittleren Breiten gegenwärtig die Schneegrenze über der Zone des maximalen Niederschlags liegt. Aber Klute bringt noch andere Argumente herbei, die für die Westseiten der Kontinente

eine Vermehrung der Niederschläge als Folgen der Temperaturdepression und der Inlandeisbildung als notwendig erscheinen lassen. Der Temperaturgradient von den Inlandeismassen der Nordhalbkugel zu den nördlichen Roßbreiten wird in jeder Eiszeit größer, der Luftaustausch zwischen hohen und niedrigen Breiten lebhafter und weiter nach Süden gedrängt, wie übrigens schon Penck betonte. Besonders im Sommer nehmen die Minima ihren Weg mit größerer Kraft nach Westen über das Mittelmeer, der Gegensatz zwischen einem warmen Meer und einem kalten Festland wird stärker, der Golfstrom kräftiger als heute und damit die Niederschläge im Westen häufiger und stärker bei westlichen Winden, die für die Ernährung des Inlandeises ausschlaggebend waren. Alles das sind die Konsequenzen der Temperaturerniedrigung. Es ist also Klute offenbar ebenso wie ich der Auffassung, daß zu dem primären Moment der Temperaturdepression als Hauptursache des eiszeitlichen Klimas, das in den Trockengebieten allein und rein zur Geltung kommt, in den ozeannahen Gebieten als sekundäres und dadurch bedingtes Moment eine absolute Steigerung der Niederschläge hinzutritt, wodurch erst die großen Unterschiede in der Depression der eiszeitlichen Schneegrenze ihre Erklärung finden. Wie groß diese Depression der Temperatur war, können wir aus der bekannten Abnahme der Temperatur mit der Höhe im Gebirge mit einiger Genauigkeit erschließen. Nehmen wir 600 m als mitt-

leren und primären Wert der Schneegrenzede-
pression an, so entspricht dies einer Temperaturdepression von
 3.5°C , d. h. etwa: die Verrückung der Isothermen
Europas um sieben Breitengrade nach Norden würde
genügen, um eine neue Eiszeit herbeizuführen.

Für den Effekt dieser Temperaturdepression auf
die Vergletscherung ist es natürlich von größter
Wichtigkeit, welche Jahreszeit hauptsächlich davon
betroffen wird. Bezieht sie sich vornehmlich auf den
Winter, so würde das z. B. für das Nährgebiet des
nordeuropäischen Inlandeises eine Verstärkung der
Kontinentalität und daher noch nicht Inlandeis-
bildung bedeuten, da der gleichgebliebene warme Som-
mer die Schnee- und Eisvorräte wieder größtenteils
wegschmelzen würde. Hingegen muß eine Minderung
der Sommerwärme ihre Anhäufung begünstigen,
überdies die Niederschläge an den Westseiten der
Kontinente besonders verstärken und schließlich zur
Inlandeisbildung führen. Daß größere Kälte allein zur
Gletscherbildung nicht ausreicht, ist seit Heim
(1885) immer wieder an dem Beispiel Sibiriens betont
worden. Allerdings scheinen die jüngsten Beobach-
tungen russischer Forscher für eine ausgedehnte dilu-
viale Eisbedeckung Nordasiens zu sprechen. Aber es
ist doch sehr die Frage, ob es sich hier, vom Ural-
vorlandgletscher und den Gletschern der sibirischen
Gebirge abgesehen, wirklich um echtes Inlandeis und
nicht vielmehr um eine Verfirnung der Schneedecke
oder Steineisbildungen handelt. Eine große Inlandeis-

masse muß überdies durch die von ihrer Antizyklone ausgehenden kalten Winde auf ihre weitere Umgebung abkühlend wirken; zu der allgemeinen primären kommt noch eine sekundäre, durch das Inlandeis selbst bewirkte Temperaturdepression. Der früher genannte Wert von 3.5°C ist aber aus Gegenden ohne Inlandeiswirkung abgeleitet und gilt nur für diese. Im eisfreien Mitteleuropa war er gewiß durch die von Norden und Süden kommenden sekundären Einflüsse größer, und das mag dazu beigetragen haben, die Walddecke durch die geringe Sommerwärme und kurze Dauer der warmen Jahreszeit zu vernichten und die Tundra sich ausbreiten zu lassen.

Mit dieser Auffassung der Eiszeiten als Kälteperioden scheinen jene in fast allen Trockengebieten der Erde wiederkehrenden Erscheinungen eines größeren Wasserreichtums (ehemalige Flüsse, einstige, heute ausgetrocknete oder reduzierte Seen u. dgl.) in Widerspruch zu stehen, die man als Beweise eines einst feuchteren Klimas betrachtet und als Vorzeitformen einer oder mehrerer Pluvialperioden mit den Eiszeiten der einst vergletscherten Gebirge parallelisiert. Aber auch in diesen Gebieten muß die Eiszeit, bzw. die Pluvialzeit nicht als eine Periode wesentlich gesteigerter Niederschläge angesehen werden. Viele der heutigen Endseen erfuhren damals eine Speisung durch sommerliche Gletscherschmelzwässer und dadurch eine Erhöhung ihres Spiegels, die bis zum Überfließen führen konnte, oder es hat die länger an-

dauernde winterliche Schneedecke als ein Reservoir auch für den Sommer gewirkt. Vor allem aber hat die Minderung der Verdunstung als Folge der Temperaturdepression die Erhaltung fließenden Wassers und höherer Seespiegelstände ermöglicht. Ferner kommt in Betracht, daß durch die stärkere Entwicklung und Verlagerung der Polarfronten nach Süden der Westwind- und Zyklonengürtel und damit auch das Roßbreitenmaximum etwas gegen den Äquator verschoben wurden, so daß am Nordrand der nordhemisphärischen und vielleicht auch der südhemisphärischen Trockenzone die Feuchtigkeit und die Niederschläge größer waren. Die Trockenzonen der Erde erfuhren also in jeder Pluvialzeit eine Einengung auf der polaren und, wie namentlich die Beobachtungen im westlichen Sudan, in Mexiko und Bolivien lehren, auch auf der äquatorialen Seite, aber keine einseitige Verlagerung.

An dem speziellen Fall des Great Basin von Nordamerika hat nun P e n c k mit Hilfe einer Überschlagsrechnung gezeigt, daß das dort zu beobachtende Nebeneinandervorkommen von während der Eiszeiten leeren, teilweise gefüllten und überlaufenden Becken nur unter der Annahme verständlich ist, daß die Niederschlagshöhen nicht größer waren als heute, während die Verdunstungshöhe nicht halb so groß war. Das setzt also auch für dieses aride Gebiet eine Temperaturdepression voraus, womit nicht nur eine Zunahme der Schneefälle in den umgebenden Gebir-

gen, sondern auch eine Vermehrung der Wasserführung der Flüsse verbunden war, da der Abflußfaktor sich mit Abnahme der Verdunstung vergrößert.

Ein einziges, aber das größte Gletschergebiet der Erde scheint der von Penck aufgestellten Auffassung, daß die Firnansammlungen in der Eiszeit nicht mächtiger waren als in der Gegenwart, zu widersprechen. Es ist das der Rand des antarktischen Inlandeises, der überall über der Schneegrenze liegt und wo alle Expeditionen die Spuren einer einst wesentlich größeren Mächtigkeit der Eismassen beobachtet haben. Drygalski hat daraus den Schluß gezogen, daß in der Antarktis in der Eiszeit eine stärkere Ernährung des Inlandeises infolge Erhöhung der Niederschläge erfolgte, und hat diese Auffassung auf die ganze Erde ausgedehnt. Das ist aber ebenso übertrieben wie die nunmehr von Penck so formulierte These, daß die Eiszeit eine kühlere und an Niederschlägen sogar etwas ärmere Periode war. Meinardus erklärte die stärkere Vereisung der Antarktis in der Eiszeit durch eine vermehrte Luftzirkulation und stärkere zyklonale Tätigkeit in hohen Südbreiten als Folge der erhöhten Temperaturdifferenz zwischen Tropen und gemäßigten Breiten, also in ähnlicher Weise, wie oben für die Nordhalbkugel ausgeführt wurde. Penck denkt an einen Zusammenhang zwischen Wassertiefe am Rande des Inlandeises und Eisbergbildung, derart, daß in jeder Eiszeit infolge eustatischer Senkung des Meeresspiegels das antarktische

Eis allgemein weiter äquatorwärts reichen konnte als heute, an seinem Saum also mächtiger war als gegenwärtig. Der seither eingetretene Rückgang des Eisrandes entspräche dann dem Ansteigen des Meeresspiegels. Es ist aber sehr die Frage, ob diese eustatische Schwankung, die im Maximum zu 100 m angenommen werden kann, ausreicht, um die beobachteten Rückgänge der Mächtigkeit des Inlandeises zu erklären, zumal eine einst stärkere Vereisung sich auch an den Gebirgen im Inneren von Antarktika beobachten läßt. Man wird doch wohl diese Beobachtungen am ehesten durch eine allgemeine Verstärkung der zyklonalen Tätigkeit in der Eiszeit erklären müssen, wodurch die Niederschläge vermehrt wurden, zugleich aber infolge der Zufuhr wärmerer Luft die allgemeine Temperaturdepression nicht voll zur Geltung kommen konnte, ohne daß darum die Temperatur höher war als heute. Jedenfalls stellt die Antarktis auch in dieser Hinsicht ein Ausnahmsgebiet dar, und es ist heute noch nicht möglich, eine eindeutige Erklärung für die hier beobachtete einstige größere Eismächtigkeit zu geben.

Vor etwa zehn Jahren hat die Veröffentlichung der sogenannten Strahlungskurve des serbischen Mathematikers Milankovich großes Aufsehen erregt, weniger bei den Astronomen, wo sie ziemlich unbeachtet blieb, als bei den Geophysikern und Glazialgeologen, weil sie auf den ersten Blick das ganze Eiszeitphänomen zu erklären schien. Auf ältere Ge-

danken zurückgreifend, hat Milankovich die drei veränderlichen Größen der Erdbahn in Rechnung gesetzt: 1. die Schwankungen der Schiefe der Ekliptik, die sich in einer Periode von über 40.000 Jahren zwischen den Grenzwerten von etwa 22 und $24\frac{1}{2}^{\circ}$ vollziehen; damit schwankt also auch der Einfallswinkel der Sonnenstrahlen um $2\frac{1}{2}^{\circ}$; 2. den Umlauf des Perihels durch alle Jahreszeiten in einer Periode von etwa 21.000 Jahren; 3. die Schwankungen der Exzentrizität der Erdbahn in einer Periode von rund 92.000 Jahren. Da also diese drei Elemente in verschieden langen Perioden schwanken, so interferieren ihre Einflüsse in sehr komplizierter Weise. Diese Einflüsse sind aber sehr verschiedener Art: Je kleiner die Ekliptikschiefe, desto kleiner ist der Unterschied der Jahreszeiten, desto kühler sind die Sommer, also ein für eine Vereisung günstiger Zustand. Die Perihelwanderung kommt insofern in Betracht, als bei sommerlicher Lage des Perihels die wärmere Jahreshälfte (Frühjahr und Sommer) kürzer, aber die Sonnenstrahlung stärker ist. Endlich steigert sich mit Zunahme der Exzentrizität der Gegensatz zwischen der Strahlungsmenge des Sommer- und des Winterhalbjahres. Zu beachten ist aber, daß alle diese Schwankungen sich auf den beiden Halbkugeln der Erde in entgegengesetzter Weise äußern müssen, also nicht synchron wirken. Milankovich hat nun diese Interferenzen berechnet und daraus die Schwankungen der Strahlungsintensität für die letzten 650.000

Jahre graphisch dargestellt, so zwar, daß als Ordinaten die durch diese Schwankungen bewirkten scheinbaren Änderungen der geographischen Breite aufgetragen werden. Wenn die Wirkungen kleiner Ekliptik-schiefe und geringer Exzentrizität zeitlich zusammenfallen, so sind die Sommer besonders kühl und die Bedingungen für eine Eiszeit besonders günstig.

Vergleichen wir nun die Strahlungskurve mit der aus den Beobachtungen gewonnenen Klimakurve des Eiszeitalters, so sind die Analogien allerdings zunächst sehr bestechend. Den vier Zackenpaaren kühler Jahresgruppen entsprechen die vier Eiszeiten, wobei aber die dritte oder Rißeiszeit als kälteste erscheint. Das widerspricht den Ergebnissen in Norddeutschland und in den Ostalpen, wo die Elster-, bzw. die Mindeleiszeit die größte Ausdehnung hatte. Daß in der Schweiz die Rißeiszeit die Maximalvergletscherung brachte, hängt wohl mit der erst damals erreichten heutigen Höhe des Gebirges, bzw. der andauernden Hebung desselben zusammen. Daß in der Strahlungskurve die Günzeiszeit als größer erscheint als die Mindeleiszeit, steht zwar mit Beobachtungen nicht in Widerspruch, da wir von der Ausdehnung der ältesten Eiszeit fast nichts wissen. Doch spricht alles dafür, daß sie geringer war als die der Mindel- und Rißeiszeit. Hingegen stimmt der weitaus größere Abstand des zweiten vom dritten Zackenpaar gegenüber 1—2 und 3—4 mit der allgemeinen Auffassung überein, daß das Mindel-Riß-Interglazial ganz wesentlich länger

dauerte als das Günz-Mindel- und das Riß-Würm-Interglazial. Die jeweilige Verdoppelung der Zacken findet in der neuen Auffassung von Eberl für das Lech- und Illergebiet von einer Verdoppelung der beiden Deckenschotter, die übrigens schon Frei für die Schweiz wahrscheinlich gemacht hat, einen Beleg; gleiches dürfte wenigstens in der Schweiz für die Rißeiszeit gelten. Für die Würmeiszeit stimmt die Zackenverdoppelung insofern nicht, als für diese von drei bald aufeinanderfolgenden Phasen gesprochen werden muß. Auch für Norddeutschland ist der nach der Kurve sich ergebende Zeitraum zwischen IVa und IVb zu groß. Die von Eberl noch vor die Günzzeit gesetzte und wiederum dreigliedrige, übrigens sehr problematische sogenannte Donaueiszeit findet in der Strahlungskurve zunächst keinen Raum. Auch der Verlauf der Postglazialzeit stellt sich in der Strahlungskurve anders dar, als nach den Beobachtungen zu schließen ist. Das postglaziale Klimaoptimum erscheint nach der astronomischen Berechnung schon vor 10.000 Jahren, während es nach De Geer u. a. vor höchstens 6000 Jahren lag. Somit wird heute die Bedeutung der Strahlungskurve für die Erklärung der eiszeitlichen Chronologie noch sehr verschieden eingeschätzt. Während Eberl von einer völligen Identität beider Kurven spricht, auch Sor gel seine aus Terrassenstudien in Thüringen gefundenen elf kalten und elf gemäßigten Zeiten in schöner Übereinstimmung mit der Gliederung des

Eiszeitalters nach Milankovich findet und auch Troll der Ansicht ist, daß in der Strahlungskurve der Schlüssel für die Lösung des Problems der Diluvialchronologie verborgen liege, meint Woldstedt, daß mehr gegen als für die Richtigkeit dieser astronomischen Hypothese spreche. Sehr zutreffend ist namentlich sein Einwand, daß auch nach der Strahlungskurve die Eiszeiten auf den beiden Hemisphären nicht ganz gleichzeitig erfolgten, sondern daß jeder Vereisung der Südhalbkugel allerdings verhältnismäßig rasch eine solche der Nordhalbkugel gefolgt sein müsse. So wäre der Höhepunkt der letzten Vereisung der Nordhalbkugel vor rund 70.000, der der Südhalbkugel aber vor 110.000 Jahren gefallen, und man müßte daher doch Unterschiede in der Erhaltung ihrer Formen und Ablagerungen finden, wovon bislang nichts bekannt ist. Die Vergletscherung der Tropen läßt sich aber aus den astronomischen Werten überhaupt nicht erklären, da die Tropen von den Änderungen der astronomischen Elemente fast gar nicht beeinflußt werden; sie könnte höchstens als sekundäre Influenzerscheinung der Vereisung in den höheren Breiten aufgefaßt werden, wofür aber die hier beobachtete Schneegrenzendepression von 800 bis 900 m viel zu groß ist.

Köppen, dem wir vor allem die Bekanntmachung und Propagierung der Strahlungskurve verdanken, hat selbst die ihr noch anhaftenden Schwierigkeiten erkannt und sie durch verschiedene Hilfs-

hypothesen zu beseitigen versucht. Den nächstliegenden Einwand, daß ja die Änderungen der astronomischen Elemente zu allen Zeiten bestanden, wir aber nur aus gewissen Perioden der Erdgeschichte Vereisungen kennen und solche namentlich in dem ganzen Zeitraum vom Permokarbon bis zum Diluvium fehlen, begegnet Köppen mit der Auffassung, daß die astronomisch bedingten Klimaschwankungen nur den Rhythmus der Erscheinungen erklären, nicht aber die erste Ursache sind, schon weil die dadurch bedingten Abkühlungswerte für die Entstehung der diluvialen Inlandeismassen zu klein wären. Deshalb sieht Köppen die Hauptursache der Eiszeiten in Polverschiebungen und nimmt für die Würmeiszeit den Nordpol in der Mitte von Grönland (75° N und 45° w. L.) an. Nun hat Klute gezeigt, daß eine solche Polverlagerung zu ganz unmöglichen und mit allen Beobachtungen im schärfsten Widerspruch stehenden Folgen führen würde. Unerklärt bliebe die diluviale Vergletscherung des Werchojanischen Gebirges und Kamtschatkas, Chiles und Patagoniens, des Himalaja-Karakorum, die geringe Vergletscherung der bolivianischen Anden u. v. a. Das gilt natürlich in ähnlicher Weise für die von Köppen angenommene Lage der Pole in den älteren Eiszeiten, so daß man endlich von der Theorie der Polverschiebungen wenigstens für das Diluvium ablassen sollte. Da aber ohne Polverschiebungen die Schwankungen der astronomischen Elemente zu schwach sind, um den

Wechsel von Eiszeiten und Zwischeneiszeiten zu erklären, so können wir auch in der Strahlungskurve nicht die Lösung der klimatischen Probleme des Eiszeitalters erblicken, sondern sie nur als ein sekundäres Moment betrachten, das eine übergeordnete Erscheinung modifiziert und ihr den Rhythmus verleiht. Worin aber diese Erscheinung besteht, ist noch völlig unsicher. Nur mit gewissen Wahrscheinlichkeitsgründen dürfen wir sie in Schwankungen der Sonnenstrahlungsenergie erblicken, die aber ihren Sitz im Sonnenkörper selbst besitzen.

Neuere Literatur.

(In Auswahl.)

- O. Ampferer: Über die Aufschließung der Liegendmoräne unter der Höttinger Breccie. Zeitschr. f. Glkde. 7. 1913/14.
 - H. Brockmann-Jerosch: Die Vegetation des Diluviums in der Schweiz. Actes soc. helv. sc. nat. 101. sess. Aarau 1921.
 - E. v. Drygalski: Die Antarktis und ihre Vereisung. Sitzber. Bayer. Ak. Wiss. math.-phys. Kl. 1919.
 - B. Eberl: Die Eiszeitenfolge im nördlichen Alpenvorlande. Ihr Ablauf, ihre Chronologie auf Grund der Aufnahmen im Bereich des Lech- und Illergletschers. Augsburg 1930.
 - F. Firbas: Beiträge zur Kenntnis der Schieferkohlen des Inntales und der interglazialen Waldgeschichte der Ostalpen. Zeitschr. f. Glkde. 15. 1927.
 - H. Gams: Die Waldklimata der Schweizer Alpen. Verh. nat. Ges. Basel. 35. 1923.
 - F. Klute: Über die Ursachen der letzten Eiszeit. Geogr. Zeitschr. 27. 1921.
 - F. Klute: Die Bedeutung der Depression der Schneegrenze für eiszeitliche Probleme. Zeitschr. f. Glkde. 16. 1928.
- Verein nat. Kenntn. LXXV. Bd. 6

- F. Klute: Können Polverschiebungen und die Strahlungskurve von M. Milankovitch die letzte Vereisung erklären? Ber. d. oberhess. Ges. f. Natur- u. Heilkunde zu Gießen. 13. 1922.
- F. Klute: Verschiebung der Klimagebiete der letzten Eiszeit. H. Wagner-Gedächtnisschrift Ergh. Pet. Mitt. 209, 1930.
- W. Köppen und A. Wegener: Die Klimate der geologischen Vorzeit. Berlin 1924.
- F. Machatschek: Die Depression der eiszeitlichen Schneegrenze. Zeitschr. f. Glkde. 7. 1913/14.
- J. Murr: Neue Übersicht über die fossile Flora der Höttinger Breccie. Jb. geol. Bundesanst. Wien 1926.
- V. Paschinger: Die Eiszeit ein meteorologischer Zyklus. Zeitschr. f. Glkde. 13. 1923/24.
- A. Penck: Richard Lepsius über die Einheit und die Ursachen der diluvialen Eiszeit in den Alpen. Zeitschr. f. Glkde. 6. 1911/12.
- A. Penck: Die Ursachen der Eiszeit. Sitzber. preuß. Ak. d. Wiss. 1928.
- A. Penck und E. Brückner: Die Alpen im Eiszeitalter. 3 Bde. Leipzig 1901—1909.
- W. Ramsay, Orogenesis und Klima. Helsingfors 1910.
- W. Soergel: Löss, Eiszeiten und paläolithische Kulturen. Jena 1919.
- C. Troll: Neue Probleme der Eiszeitforschung. Geogr. Anz. 1930.
- C. Troll: Die Eiszeitenfolge im nördlichen Alpenvorland. Mitt. geogr. Ges. München. 24. 1931.
- P. Woldstedt: Das Eiszeitalter. Berlin 1929.
-