

# Orogenesis und Klima

von

WILHELM RAMSAY

Im vorliegenden Versuch einer Behandlung des geologischen Klimaproblem es soll der Prüfung der Sachverständigen eine Theorie unterstellt werden, die allerdings weiterer, auf dem gegenwärtigen Standpunkt unseres erdgeschichtlichen Wissens nicht zu erbringender Beweise bedarf, aber immerhin zur Lösung der viel diskutierten Frage beitragen kann. Der Verfasser will zeigen, dass die Vereisungsperioden in Zeiten eintrafen, wo die Erdoberfläche in hohem Grade deformiert und uneben war, die wärmsten Perioden dagegen in Zeiten, wo die Festländer fast eingebnet waren. Die Erklärung dieses Verhältnisses wird aber nicht ausschliesslich in den Umständen gesucht, in welchen die s. g. Elevationshypothese die Ursachen einer Eiszeit zu erkennen glaubt, sondern vielmehr in der Einwirkung, welche die Beschaffenheit des Relieffes überhaupt auf das Klima ausüben muss.

## 1. Periodisches Wechseln der Reliefverhältnisse

Eine streng uniformitarische Anschauung über die Entwicklung der Erde hegen wohl nunmehr wenige Forscher, so dass sie z. B. meinten, die Gebirgsbildung wäre zu allen Zeiten im gleichen Maasse fortgeschritten, oder die klimatischen Verhältnisse der verschiedenen geologischen Perioden wären einander gleich, wennauch die Klimagebiete und -gürtel sich auf mancherlei Weisen verschoben hätten. Im Gegenteil sind wohl die meisten Geologen darüber einig, dass die

orogenetischen Prozesse in gewissen Zeiträumen ihre höchste Wirkungskraft entfaltet haben, in anderen dagegen verhältnismässig ruhig gewesen sind, und dass die Klimate in mehreren Hinsichten von Periode zu Periode geschwankt haben. Immermehr verbreitet sich die Ansicht, das Gebirgsbildung, Vulkanismus und äussere geologische Vorgänge in verschiedenen Epochen und Perioden mit verschiedener Stärke aufgetreten sind und sich rhythmisch wiederholt haben.

Einerseits giebt es nun Forscher, welche davon überzeugt sind, dass die verschiedenen erdungestaltenden Vorgänge, wie z. B. die Degradation<sup>1)</sup>, das immer wiederkehrende Aufleben und Absterben der Gebirgsbildung, die Trans- und Regressionen u. s. w., innerhalb einer bestimmten Periode von einander abhängig gewesen sind und synchronisch oder mit gut koinzidierenden Phasen ihre Kreisläufe vollendet haben. Andererseits meinen wiederum hervorragende Kenner der geologischen Vergangenheit, dass die Vorgänge verschiedener Art allerdings periodisch verlaufen können, aber dass „man den Tatsachen Gewalt antut, wenn man versucht sie in einen Zyklus einzuzwängen“<sup>2)</sup>. Für meinen Teil schliesse ich mich der ersteren Anschauung an und habe sie schon an anderer Stelle kurz entwickelt<sup>3)</sup>. In einer sehr überzeugenden Form ist diese Lehre in Haugs Lehrbuch dargestellt worden<sup>4)</sup>, und unter anderen Forschern, welche auf die rhythmische Wiederkehr der verschiedenen Phasen der geologischen Vorgänge hingewiesen haben, mag an Le Conte<sup>5)</sup>, Arldt<sup>6)</sup> und F. von Wolff<sup>7)</sup> erinnert werden. Von solchen

---

<sup>1)</sup> *W. M. Davis*, The geographical Cycle. Geogr. Journ. London. 14. 1899. S. 481.

<sup>2)</sup> *J. Walther*, Die Geschichte der Erde und des Lebens. Leipzig 1908. S. 548.

<sup>3)</sup> *Wilhelm Ramsay*, Geologins grunder. Helsingfors 1909. S. 334 u. ff.

<sup>4)</sup> *E. Haug*, Traité de Geologie. Paris 1908—1910.

<sup>5)</sup> *J. Le Conte*, Earthcrust Movements and their Causes. Bull. geol. Soc. Amer. 8. 1907. S. 113.

<sup>6)</sup> *Th. Arldt*, Die Entwicklung der Kontinente und ihrer Lebewelt. Leipzig 1907. S. 481 und 506.

<sup>7)</sup> *F. von Wolff*, Die vulkanische Kraft und die radioaktiven Vorgänge in der Erde. Zeitschr. d. deutsch. geol. Gesellsch. 60. 1908. S. 431.

Gesichtspunkten aus sollen hier einige den Geologen altbekannte Tatsachen beleuchtet werden.

Seit dem Beginn der kambrischen Zeit hat die Entwicklung der Erde drei geologische Zyklen höherer Ordnung vollendet und einen vierten begonnen. Die Grenzschneiden zwischen ihnen liegen bei den Diskordanzen, welche auf die kaledonischen, herzynischen und alpinischen Gebirgsfaltungen und Erdkrustenbewegungen folgen.

Diese grossen Zyklen sind:

	<i>Erster Teil</i>	<i>Zweiter Teil</i>	<i>Hauptgebirgsbildung</i>
Zyklus I	Eokambrium-Kambrium-Ordovizium	Gothlandium	<i>Kaledonisch</i>
„ II	Devon-Unterkarbon	Oberkarbon	<i>Herzynisch</i>
„ III	Perm-Trias-Jura	Kreide-Tertiär	<i>Alpinisch</i>
„ IV	Quartär — —		

Der erste Teil von jedem Zyklus umfasst eine langandauernde anorogenetische Phase, d. h. einen solchen Abschnitt der Entwicklung, während dessen die Erdkruste im grossen und ganzen Faltungen nicht ausgesetzt war, im Gegensatz zu den orogenetischen Zeiten, die durch bedeutende Schichtenstörungen gekennzeichnet werden. Im Zyklus I, den wir auch den kaledonischen Zyklus nennen wollen, gehören zu dieser anorogenetischen Phase die eokambrische, kambrische und ordovizische Zeit, im Zyklus II — dem herzynischen Zyklus — die Devonperiode und die Dinantepoche, und im Zyklus III — dem alpinischen Zyklus — die Perm-, Trias- und Juraperioden. Der Zyklus IV — der rezente Zyklus — hat erst mit den quartären und neueren Zeiten seinen Anfang genommen.

Am Ende dieser Zeitabschnitte treten die Zyklen in orogenetische Phasen ein, die als Vorläufer der Hauptgebirgsbildungen betrachtet werden können. Im kaledonischen Zyklus werden diese ersten tangentialen Bewegungen z. B. durch die Sahariden <sup>1)</sup>, die Diskordanz zwischen Ordovizium

<sup>1)</sup> E. Suess, Das Antlitz der Erde. III. 2. Leipzig 1909. S. 105.

und Gothlandium in Wales und Midland Counties in England sowie in Green Mountains und anderen Partien der Appalachen angegeben. Im herzynischen Zyklus sind sie von den allgemein verbreiteten Faltungen und Diskordanzen vertreten, welche die oberkarbonischen Stufen von der Diabantstufe trennen. Im alpinischen Zyklus gehen postjurassische Gebirgsbildungen auf langen Strecken in den s. g. jungen Faltungszonen (z. B. in Nord- und Südamerika, in Asien, in den „Kimmerischen Gebirgen“<sup>1)</sup> u. s. w.) der tertiären Orogenese in denselben Zonen voraus.

Nach dieser ersten anorogenetischen Phase folgen im zweiten Teil der Zyklen verhältnissmässig anorogenetische Zeiten: die gothlandische Periode im Zyklus I, zum Teil die Moskauepoche im Zyklus II und im Zyklus III die Kreideperiode. Doch werden von hier ab die schichtenstörenden Bewegungen immer häufiger, wennauch von mehr oder weniger ruhigen Zwischenpausen unterbrochen, und gegen das Ende der Zyklen setzen die Hauptphasen der grossen Gebirgsbildungen ein, um noch am Anfange der folgenden Zyklen hie und dort mit abnehmender Stärke fortzufahren.

Mit dieser Aufstellung der geologischen Perioden, welche mit Hinsicht auf den Hauptzweck des vorliegenden Ausatzes gewählt worden ist, soll weder eine gleiche Dauer noch eine Konformität den drei grossen Zyklen und ihren mit einander verglichenen Phasen zugeschrieben werden. Es würde das heissen den Tatsachen Gewalt antun. — Man kann selbstverständlich die Perioden auf mehrere andere Weisen in Zyklen einteilen, die man zum Vergleich neben einander stellt oder z. B. in eine einzige Reihe von grösseren und kleineren, durch mehr oder weniger bedeutende und umfassende Gebirgsfaltungen getrennten Zyklen einordnet.

Wie man aber auch solche Zyklen aufstellen mag, wird man stets finden, dass der von der Gebirgsbildungen angegebene Rhythmus den allgemeinen Gang der Geschichte der Erde bestimmt hat.

So ist die eruptive Tätigkeit der Vergangenheit und

---

<sup>1)</sup> E. Suess, l. c. S. 22.

der Gegenwart nicht nur geographisch an die Faltungs- und Bruchzonen der Erdrinde gebunden, sondern auch chronologisch mit den orogenetischen Ereignissen verknüpft. Denn diejenigen Umstände und Zustände des Erdinneren, welche die Bewegungen in der Lithosphäre hervorgerufen haben, haben auch die Magmen in Bewegung gebracht.

Demselben Rhythmus folgen die allgemeinen Trans- und Regressionen des Meeres. Wie vor allen Haug<sup>1)</sup> nämlich gezeigt hat, stehen die Verschiebungen der Meeresgrenzen im engsten Zusammenhang mit den orogenetischen Bewegungen der Erdkruste, und ferner verhalten sich dabei die Geosynklinalen oder die Zonen, in welchen die Gebirgsfaltungen im respectiven Zyklen stattfinden, anders als die die Faltungen widerstehenden Kontinentalgebiete (aires continentales), indem in manchen Fällen Transgressionen in jenen Regressionen in diesen entsprechen und umgekehrt.

Gewöhnlich sind orogenetische Phasen der Zyklen mit auffallenden Regressionen verbunden, während die grössten Transgressionen in den langen anorogenetischen Phasen auftreten, und zwar hat sich das Meer dabei in erster Linie über die während der respectiven Zyklen bestehenden Kontinentaltafeln ausgebreitet. In den Faltungszonen aber ist es gleichzeitig seichter geworden oder hat infolge der Aufwölbung von Geantiklinalen von ihnen zurückweichen können.

Am Anfange der grossen Zyklen und am Abschluss der Hauptgebirgsfaltungen, also in eokambrischer, eodevonischer, permischer und quartärer Zeit, war die feste Erdrinde in grösserer Ausdehnung als sonst von der Meeresbedeckung entblösst, sowohl in den soeben gefalteten Zonen wie in den nicht gefalteten Gebieten (oder Kontinentalgebieten der resp. Zyklen). Allmählich erweiterte sich aber das Meer, so dass es, von zahlreichen temporären und lokalen Rückgängen abgesehen, in der späteren Hälfte des ersten Teiles von jedem Zyklus, d. h. während der ordovizischen Periode, der Dinantepoche und der Kellaway-Oxfordepochen, grössere Areale als früher einnahm. Die danach folgende orogenetische Phase brachte Regressionen mit sich. Im

---

<sup>1)</sup> E. Haug, Les géosynclinaux et les aires continentales, Bull. Soc. Géol. France. Sér. 3. 28. 1900. S. 617.

Zyklus I zog sich das Meer für eine Zeit von den kaledonischen Zonen und mehreren anderen Gegenden zurück um wieder während der gothlandischen Zeit grössere Ausdehnung zu gewinnen. Im Zyklus II traten allgemeine Regressionen nach der Dinantzeit auf, wonach das Meer in den folgenden Epochen wieder neue Areale eroberte. Im Zyklus III wurde das Meer in der Portland- und noch mehr in der Neocomepoche eingeengt. Danach setzte die grossartige Zenoman-Turon-Transgression ein. In den späteren Teilen der Zyklen wechselten orogenetische Phasen immer öfter mit ruhigeren Zeiten ab, und das Bild der Trans- und Regressionen wurde verwickelter. Doch überwog die Regression, und am Ende der Zyklen war sie grösser als je.

Grössere Bedeutung als die Arealveränderungen der Meere hat indessen das Wechseln der Reliefverhältnisse der verschiedenen Perioden für die vorliegende Untersuchung, und es soll gezeigt werden, dass die Erdoberfläche zu den Zeiten der grossen Regressionen am meisten gebirgig und uneben, zu den Zeiten der grossen allgemeinen Transgressionen wiederum am meisten eingeebnet gewesen ist, — ein Postulat, das schon a priori wahrscheinlich vorkommt, da die Regressionen mit orogenetischen Phasen der Entwicklung zusammenfallen, die grossen Transgressionen dagegen nach langen anorogenetischen Phasen auftreten.

Die Gebirgsstauung und damit zusammenhängende Vorgänge bringen die verschiedenen Teile der Erdrinde mit Hinsicht auf ihre Mächtigkeit, Dichte und Lage in Zustände, die dem vorher bestehenden Gleichgewicht zwischen ihnen und dem plastischen Erdinneren nicht entsprechen. Es entsteht darum schon während der orogenetischen Phasen und noch mehr am Abschluss derselben ein Streben neue isostatische Verhältnisse herzustellen, welches sich in Überhöhungen und Einbrüche auslöst und in der Deformation der Erdoberfläche den Folgen der Orogenesis einen Ausdruck giebt. Ihre grössten Proportionen nehmen diese Deformationen nach den Hauptgebirgsbildungen an. Dadurch werden am Ende jedes grossen Zyklus die bis dahin herrschenden Grundzüge in der Erdoberfläche durch neue ersetzt, welchen die Formen und die Lage der Festländer

und Meere während des nächst folgenden Zyklus unterliegen. Durch die tertiären orogenetischen Ereignisse wurden z. B. die früheren Kontinental- und Ozeangebiete zerteilt, und die von ihren Formen abweichenden Hauptzüge der jetzigen Weltteile und Meere ausgebildet. Den vortertiären, wesentlich dem alpinischen Zyklus (III) eigenen Bau der Erdrinde offenbart uns die geologische Struktur der Kontinente mit ihren Faltungszonen (alten Geosynklinalen) und nicht gefalteten „Kontinentalgebieten“. Derselbe deckt sich zum Teil mit älteren Grundrissen oder überquert oder verhüllt sie. „Daher muss erkannt werden, dass im Antlitz der Erde mehrere Pläne übereinander geprägt sind“<sup>1)</sup>.

Bei diesen grossen Umgestaltungen der Erdrinde sind die in den vorhergehenden Zeiten erreichten Reliefverhältnisse im höchsten Grade gestört worden. Darum haben sich in den Perioden an der Wende zweier Zyklen die höchsten Berge auf den Kontinenten erhoben, und die tiefsten Gräben im Meeresgrund erstreckt. Denn wie Suess<sup>2)</sup> meint, die grössten Tiefen des heutigen Meeres, die Vortiefen der Faltengebirge, sind wahrscheinlich, wie die höchsten Berge, die jüngsten, und es scheint wenig Grund für eine Annahme vorzuliegen, dass solche Gräben nicht auch den herzynischen, kaledonischen und noch älteren Gebirgsketten vorgelagert waren.

Die Quartärperiode und die Gegenwart gehören einer solchen Zeit an, wo Höhen und Tiefen in hohem Grade vom mittleren Niveau abweichen. Auf den Festländern ragen die jungen noch nicht degradierten Faltengebirge und Hochländer in die Höhe, und ausserdem werden grosse Teile aller Kontinente von Peneplainen gebildet, in welche eine verjüngerte Erosion neue Täler gefurcht hat. Diese Erscheinung ist so allgemein, dass alle Beispiele von typischen Peneplainen dieser Kategorie vorquartärer Fastebenen angehören, warum man auch gegen die Auffassung der Peneplaines als ein Resultat der Erosion angeführt hat, dass keine Beispiele von aktuellen solchen vorgezeigt werden

---

1) E. Suess, Das Antlitz der Erde. III. 2. Leipzig 1909. S. 700.

2) E. Suess, l. c. S. 336.

können, sondern nur von solchen, deren Bildung immer in vergangene Zeiten verlegt werden muss, weil die Basniveaus der Flüsse unter dem allgemeinen Degradationsniveau der Ebenen selbst sich befinden. Dies bedeutet aber erstens, dass vor den Störungen, welche die verschiedenen Stücke der Erdkruste in ihre gegenwärtigen Niveauverhältnisse brachten, Ruhezeiten verflossen sind, die lang genug waren um eine fast vollständige Degradation der damaligen Festländer zu erlauben, und zweitens, dass die Höhen der allermeisten Teile der Kontinente gegenwärtig grösser sind als in etwas älteren Perioden. So haben auch in den ferner liegenden Weltaltern die Höhen der Festländer über dem Meere ihre grössten Werte während und gleich nach den Gebirgsfaltungen am Ende der grossen Zyklen erreicht. Aber auch die Tiefen der Ozeane sind zu diesen Zeiten, wie auch in der Gegenwart, grösser als sonst gewesen. Darauf weisen die grossen Regressionen an der Wende zwischen den Hauptzyklen hin. Denn das Meereswasser konnte in den an Areal verminderten Ozeanbecken Raum finden, nur wenn sie vertieft waren.

Während der langen anorogenetischen Phasen wurden die Kontinente wieder niedriger und das Meer seichter. Dieses geschah auf zweierlei Weise: durch Bewegungen in der Erdkruste und durch die Degradations- und Aggradationsprozesse.

Die grossen Deformationen des Reliebes und die bedeutenden Regressionen entsprachen nämlich keinem vollständigen Gleichgewicht zwischen der Erdkruste und dem plastischen Erdinneren. Die Wiederherstellung desselben hat sich darum fortgesetzt (vergl. oben S. 6!). Wo z. B. Gebirgsmassen, die auf grossen und tiefen Deplazementen ruhten, durch Abtragung leichter wurden, sind sie gestiegen. Ebenso sind Krustenteile, die von anderen Partien zu tief heruntergepresst worden waren (wie z. B. Vortiefen nach Suess<sup>1)</sup>), gestiegen, sobald sie von dem belastenden Druck an ihrem Rand befreit wurden. Andererseits sind hochliegende Partien, deren Gewicht grösser war als

---

<sup>1)</sup> E. Suess, l. c. S. 581.



ihr Deplazement, gesunken. Wenn dabei ein Teil der Kontinentaltafel unter den Meeresspiegel sank, erweiterte sich das Gebiet des Meeres, aber da der Meeresraum gleichzeitig vergrössert wurde, musste auch die Oberfläche des Meeres sinken, um so mehr, je tiefer der bezügliche Teil der Kontinentaltafel versetzt wurde. Dadurch konnten seichte Flachseegebiete trocken gelegt werden, und in der Tat wurden, besonders in den ersten Perioden der anorogenetischen Phasen, die Ingressionen des Meeres in gewissen Gebieten von Regressionen in anderen begleitet. Schliesslich wurden wohl doch die auf diese Weise gemachten Eroberungen des Meeres grösser als die Verluste. Gleichzeitig mit diesem Einsinken von Kontinentalpartien müssen aber mehr oder weniger ausgedehnte Teile des Meeresgrundes gehoben worden sein. Denn nur wenn die mittlere Tiefe des Weltmeeres abnahm, konnte dasselbe sich erweitern. In der Tat fand, wie oben gesagt (S. 5) bei den grossen Transgressionen über die Kontinentaltafeln ein Aufwölben des Bodens in den Geosynklinalen statt, und manche Sedimentserien zeigen an ihrer Basis Gesteine, die mit Recht für abyssisch gehalten werden, und darüber Flachseebildungen in ununterbrochener Konkordanz überschichtet, ohne dass die einst vorhandene Tiefe von einem mächtigen Sedimentserie ausgefüllt wäre. Die umgekehrte Erscheinung, das Einsinken von Teilen der Kontinente, lässt sich nachweisen an den oft beschriebenen Stellen, wo Sedimentserien von Hunderten und Tausenden Meter Mächtigkeit von der untersten bis zur obersten Schicht z. B. aus Sandstein mit Wellenfurchen auf den Schichtflächen gebildet sind.

In den durch die orogenetischen Bewegungen entstandenen Horsten, Hochländern und Gebirgsketten vertieften die erodierenden Agentien Täler, zerstückten das Relief und gaben der Oberfläche der Festländer eine noch mehr geriefte Gestalt. Aber je weiter eine nach der Gebirgsbildung folgende anorogenetische Phase fortschritt, um so mehr wurden die Oberflächenformen durch die exogenen Vorgänge eingeebnet. Alle Gegenden die über das allgemeine Degradationsniveau emporragten, wurden, wenn die anorogenetische Phase lange genug dauerte, bis zu Fastebenen deni-

velliert, und die unter diesem Niveau befindlichen Gebiete wurden durch die Ackumulation mehr oder weniger ausgefüllt. Im Weltmeere, das schon durch die Bodenerhebung seichter wurde, verdrängten die abgelagerten Sedimente die Wassermassen, so dass es noch grössere Areale der eingeebneten Landflächen überschritt.

Diese den verschiedenen Phasen der Zyklen folgenden Veränderungen der Relief- und Niveauverhältnisse spiegeln sich in der Beschaffenheit der Sedimente ab. Auf Kosten der Gebirge, Hochländer und Horste haben sich enorme Massen von grobklastischem Gesteinsmaterial gebildet, die sich in den Tiefländern oder den See- und Meeresbecken gesammelt haben. Systeme, die während oder nächst nach einer orogenetischen Phase abgelagert wurden, enthalten darum verhältnissmässig viel Konglomerate, Sandsteine und dergleichen. Dagegen sind Systeme, die während der grossen Transgressionen über die Kontinentaltafeln in den späteren Teilen der langen anorogenetischen Phasen gebildet wurden, im allgemeinen reicher an feinschlammigen Sedimenten sowie Kalksteinen, weil die Festländer eingeebnet waren und die Flüsse geringere Mengen Sinkstoffe (und nur feinsten Dimensionen) dem Meer zuführten. — Ferner wechsellagern Ergussgesteine und Tuffe sehr häufig mit psephitischen und psammitischen Schichten, während sie in den reinen Kalksteinformationen selten sind, d. h. die vulkanische Tätigkeit war während der Zeiten von Störungen, grosser Unebenheit der Erdoberfläche und dadurch bedingter erhöhter Leistung der abtragenden Agentien viel grösser als während der ruhigen Zeiten der ausgedehnten Transgressionen.

Die oben entwickelten Vorstellungen über die Reliefverhältnisse der Vergangenheit und Gegenwart sollen kurz zusammengefasst werden, wie folgt. Der Gang der Erdgeschichte ist nicht uniformitarisch, sondern zyklisch gewesen. Es hat nicht während aller Zeiten, wie heutzutage, hohe, von Tälern tief durchfurchte Berg- und Hochländer neben Tiefländern sowie tiefe Ozeane mit abyssischen Gräben gegeben, indem neue Gebirge stetig entstanden wären als Ersatz für die älteren, der Zerstörung anheim gefalle-

nen und neue Meerestiefen sich immer gebildet hätten. Im Gegenteil. In einigen Perioden waren die Reliefverhältnisse mit den gegenwärtigen vergleichbar, aber in anderen zeigten die Festländer in ihrer ganzen Ausdehnung das Aussehen von Peneplainen, und der Meeresraum war viel seichter als jetzt. Während dieser letzteren Perioden, welche in den späteren Teilen langer anorogenetischen Phasen eintrafen, hat die Erdoberfläche sich am nächsten der theoretischen Erdgestalt angeschmiegt, aber während und am Ende der Hauptphasen der Orogenesis ist sie am meisten deformiert gewesen, und sowohl die absoluten wie die mittleren Höhen der Berge und Tiefen der Meere haben ihre grössten Werte erreicht.

Nun ist es von besonderem Interesse für die vorliegende Untersuchung zu wissen, in welchen geologischen Epochen die Höhen und Tiefen vom mittleren Niveau der Erdoberfläche am meisten abgewichen sind. Eine Betrachtung der bei der letzten grossen Orogenesis zustande gekommenen Verhältnisse wird uns darüber belehren.

Schon früh in der Tertiärzeit fingen Teile der jungen Faltungszonen an sich zu erheben, wie es unter anderem das immer reichlichere Auftreten von grobklastischen Sedimenten zeigt. Je mehr die Periode fortschritt, um so grösser wurde die Zahl und Ausdehnung der überhöhten Gegenden, und um so häufiger die Einbrüche. Die Unterschiede zwischen Hoch- und Tiefgegenden vermehrten sich. Das Weltmeer wurde immer tiefer durch die Grabenbildungen, sein Spiegel sank, und die Kontinente mit ihren Gebirgen kamen dadurch in eine noch höhere Lage im Verhältniss zu ihm. In dieser Richtung haben sich die Relief- und Niveauverhältnisse bis an das Ende der Tertiärzeit und den Anfang der Quartärzeit verändert. Denn, wenn wir vorläufig von den durch Faltung und Überschiebung in die Höhe getriebenen Tertiärschichten absehen und nur solche in Betracht nehmen, die eine verhältnissmässig ungestörte Stellung, wenn auch nicht primäre Niveaulage einnehmen, finden wir, dass die höchsten Vorkommen von marinem Alttertiär auf höheren Niveaueu angetroffen werden, als die hochliegenden jungtertiären Bildungen, und ferner, dass pliozäne marine Schich-

ten in hohen Lagen vorkommen, weit oberhalb der Grenzen der quartären und rezenten Meere. Ferner begehen wir in allen Weltteilen den auf der S. 7—8 erwähnten mehr oder weniger über ihre früheren Degradationsniveaus versetzten Penepainen. In manchen derselben haben die eingesenkten Erosionstäler marine Ablagerungen von miozänem Alter durchschnitten, und auf den gehobenen Fastebenen und Flussterrassen liegen sogar pliozäne Ackumulationen weit oberhalb der gegenwärtigen Erosionsniveaus<sup>1)</sup>. Das Wiedererleben der Talbildung muss darum, wie auch die ganze Morphologie solcher Gegenden belehrt, geologisch gesprochen sehr jung sein, wie das auch zu erwarten ist, da die grossen in der Struktur und im Reliefe aller Kontinente so hervortretenden grossen Verwerfungen sowie zahlreiche und ausgedehnte grosse Einbrüche, die neue Meeresräume geschaffen haben, in der späteren Hälfte der Tertiärzeit, ja erst im Anfange der Quartärzeit (wie s. B. die des Schwarzen Meeres und Teile des Mittelmeeres) sich vollzogen haben. Dies alles bewirkte ein fortwährendes Sinken des Meerespiegels. — Aber auch in den Faltungszonen gingen der tangentialer Zusammenschub und die Überhöhung noch in der Quartärzeit vor sich. Ausser an die bekannten Beispiele vom Himalaya, dem Nordamerikanischen Westen u. s. w. mag unter neuen Untersuchungen an diesbezüglichen Mitteilungen über die Südamerikanischen Anden<sup>2)</sup> und über die Karpathen<sup>3)</sup> erinnert werden.

Die häufig hervorgehobene grossartige Talbildung auf allen Teilen der Erde während der Pliozänzeit und des Anfanges der Quartärzeit scheint kaum, wie oft behauptet, einer reichlichen Vermehrung der Niederschläge zuzuschreiben zu sein, sondern viel eher einer gerade damals stattgefundenen relativen Überhöhung der sich erhebenden Teile der Erdkruste und einer negativen Verschiebung des Strandes.

---

<sup>1)</sup> Vergl. z. B. *A. Briquet*, La pénéplaine du nord de la France. *Annal. de Géographie*. 17. 1908. S. 205.

<sup>2)</sup> *H. Keidel* bei *P. Loos*. Die Erbeben der Stadt Mendoza und Umgebung. *Beiträge zur Geophysik*. 9. S. 193.

<sup>3)</sup> *von Sawicki*, Die jüngeren Krustenbewegungen in den Karpathen. *Mitteil. der Geol. Gesellsch. Wien*. II. 1909. S. 81.

Die in dieser Richtung gehenden Veränderungen der Relief- und Niveauverhältnisse haben aber ihren Höhepunkt erreicht und einen anderen Sinn angenommen an einem Zeitpunkt, der schon hinter uns liegt. Dieses bezeugen die den Küsten fast aller Festländer und Inseln vorgelagerten unterseeischen Schelfe mit ertrunkenen Flussrinnen. Sie weisen auf eine allgemeine beginnende Transgression oder eine positive Verschiebung des Meeresspiegels (oder eine Summe von positiven und negativen Oszillationen) hin, deren Betrag an verschiedenen Orten der Tiefe des vom Meere überschrittenen Schelfes gleichkommt. Das Alter dieser Kontinentalschelfe scheint nämlich, wo er sich bestimmen lässt, pliozän und pleistozän zu sein<sup>1)</sup>. Die Landhebungen während der jüngeren quartären Epochen widersprechen nur scheinbar der oben gemachten Behauptung, dass die Meereshöhen der Festländer und Berge seit der älteren Quartärzeit im allgemeinen abgenommen haben. Denn sie sind hauptsächlich den einst vereisten Gebieten eigen, und ihre Beträge sind geringer als die der ihnen vorausgegangenen Landsenkungen, wie es u. a. die ertrunkenen Fjordtäler in solchen Gegenden zeigen. Ferner mag daran erinnert werden, dass diese allgemeine quartäre Transgression<sup>2)</sup> aus Oszillationen des Strandes in positiver und negativer Richtung hervorgegangen ist, und dass diese nicht immer gleichzeitig oder gleichsinnig in verschiedenen Gegenden verlaufen sind.

Zu dieser gewiss durch Krustenbewegungen verursachten allgemeinen Höhenabnahme der relativen Niveauverhältnisse muss ein Betrag für die Degradation gefügt werden, die wohl während der ganzen Orogenesis wirksam war, aber doch nicht mit der Erhöhung gleichen Schritt zu halten vermochte.

Aus dem obenstehenden ist ersichtlich, dass das Relief der Erdoberfläche im Laufe der Tertiärzeit mehr und mehr

---

<sup>1)</sup> *F. Nansen*, Bathymetrical Features of the North Polar Seas. The Norwegian North Polar Expedition 1893—1896. Scientific Results. Vol. IV. Christiania 1904. — Alter der Schelfe: S. 186.

<sup>2)</sup> *A. Penck*, Morphologie der Erdoberfläche. II. Stuttgart 1894. S. 580.

gebrochen und uneben wurde, und dass die Erhebung der Berge über die Täler und der Hochländer über die Tiefgegenden sowie die Höhen der Festländer gegen das Ende der Periode anwuchs, um am Anfange der Quartärzeit ihr Maximum zu erreichen, wonach sie wieder etwas abgenommen haben. Ex analogia darf man annehmen, das während der älteren Zyklen die Kontinente bei der Schlussphase der grossen Hauptgebirgsbildungen ihre grösste Höhe hatten, meist uneben waren und die höchsten Berge trugen. Solche Maxima der Abweichung der Reliefverhältnisse vom eingebneten Zustande der Erdoberfläche haben also an folgenden vortertiären Zeitpunkten geherrscht: in eokambri-scher Zeit nach der Gebirgsbildung, welche die allgemeine Diskordanz an der Basis der Serie des Zyklus I bedingt hat; in irgend einer eodevonischen Epoche als Folge der kaledonischen Orogenesis; und am Ende des herzynischen Zyklus wahrscheinlich sowohl in der Uralepoche wie auch am Anfang der Permperiode.

## 2. **Klimaschwankungen.**

Dem zyklischen Gang der Entwicklung folgen die Klimaschwankungen. Der Untersuchung dieses Verhältnisses wollen wir einige Bemerkungen vorausschicken.

Es wird beim Besprechen der geologischen Klimate häufig die Bezeichnung „gleichförmig“ gebraucht um anzugeben, dass warme, für das Tier- und Pflanzenleben günstige Verhältnisse über die ganze Erde, sogar in hohen Breiten geherrscht haben. Dieser Ausdruck ist indessen nicht glücklich gewählt, denn das Klima kann in keiner Zeit gleichförmig gewesen sein, weil die Erde ein einseitig beleuchteter, um ihre Achse rotierender Körper ist und dazu noch die Neigung dieser Achse gegen die Ekliptik uralte ist, wie es Sedimente mit Jahresschichten von weit zurückliegenden Perioden andeuten, und ferner weil verschiedene Klimate einander bedingen. Wüstenklima z. B. in einigen Gebieten oder Zonen setzt immer bedeutenden Niederschlag in anderen Teilen der Erde voraus.

Während aller Perioden, wenigstens seit dem Auftreten der Lebewelt, haben verschiedene Klimazonen und -gebiete neben einander bestanden. Von geologischem Gesichtspunkte aus können sie sowie die Klimate selbst in pluviale (tropische und temperierte), aride und glaziale eingeteilt werden. Die Beschaffenheit der kontinentalen Sedimente belehrt uns, dass Bildungen, die unter diesen verschiedenen Bedingungen entstanden sind, in denselben System oder Etagen, aber in von einander mehr oder weniger entfernten Gegenden auftreten.

Mit dieser Sachlage, dass verschiedene Klimate während aller geologischen Perioden gleichzeitig aufgetreten sind, soll eine uniformitarische Auffassung nicht verbunden werden. Denn die klimatischen Verhältnisse der Vergangenheit sind nicht immer denen der Gegenwart ähnlich gewesen. Es hat allerdings schon früh Perioden gegeben, in welchen wie heutzutage und in der Quartärzeit grosse Areale infolge glazialen Klimas vereist waren, aber andererseits haben manche Perioden keine Vereisungen aufzuweisen, und die petrographische Beschaffenheit sowie die Fossilien der entsprechenden Systeme bezeugen, dass die mittlere Temperatur auf der Erde damals erhöht gewesen sein muss. Die ersteren wollen wir miotherm (weniger warm), die letzteren pliotherm (mehr warm) nennen.

Zu einem solchen miothermen Zeitraum gehören z. B. nicht allein die quartären Eiszeiten, sondern auch die postglazialen Epochen. Denken wir uns nämlich die gegenwärtig vereisten Gebiete in der Zukunft von ihren Eiskappen befreit, so würden die dort hinterlassenen glazialen Bildungen einem künftigen Geologen als Beweise für eine Eiszeit gelten ebenso gut wie z. B. die Dwyka-, Talchir- und andere alte Moränkonglomerate. Erst wenn die ungünstigen Klimaverhältnisse während einer miothermen Periode verschärft werden, treten mehr ausgeprägte Eiszeiten auf. Die interglazialen Epochen zwischen ihnen gehören aber auch der miothermen Periode an, und sind nicht mit pliothermen Zeiten gleichzustellen.

Die Erdperioden wieder, denen man gewöhnlich s. g. „gleichförmiges“ Klima zuschreibt, waren pliotherm. Während

derselben haben so warme Klimate die Erde begünstigt, dass glaziale Verhältnisse in keiner Gegend sich entwickeln konnten, sei es darum, dass die Klimate auf allen Teilen der Erde stetig frostfrei waren, oder dass der Schnee und das Eis, die in den kälteren Klimagebieten entstanden, während der warmen Jahreszeit wieder wegschmolzen.

Welche Perioden und Epochen unterlagen nun miothermen, welche pliothermen Verhältnissen?

Moränenkonglomerate sind schon unter präkambrischen Ablagerungen bekannt. Kurze Übersichte davon wurden beim internationalen Geologenkongress in Mexico von Gregory<sup>1)</sup> und David<sup>2)</sup> gegeben, und es soll ferner auf Colemans<sup>4)</sup> Mitteilungen über diesen Gegenstand hingewiesen werden. Durchmustern wir aber nun die Systeme vom Cambrium anfangend, begegnen wir glazialen Bildungen in folgenden von ihnen.

Im Eokambrium oder an der Basis der tiefsten paläozoischen Schichten kommen in mehreren von einander weit entfernten Gegenden Moränenkonglomerate vor. In erster Linie sind hier die von Bayley Willis<sup>4)</sup> beschriebenen mächtigen Ablagerungen am mittleren Yang-tse in China. Danach erinnern wir uns der von W. Howchins<sup>5)</sup> entdeckten ausgedehnten Bildungen dieser Art in Südaustralien. Ferner gehört hierher mit grosser Wahrscheinlichkeit das von Reusch<sup>6)</sup> gefundene und später von Strahan<sup>7)</sup> untersuchte Glazial-

<sup>1)</sup> *J. W. Gregory*, Climatic Variations, their Extent and Causes. C. R. du Congrès géologique international X:ème session. Mexico 1906. I. S. 408.

<sup>2)</sup> *T. W. Edgeworth David*, Conditions of Climate at different geological Epochs, with special Reference to Glacial Epochs. Ibid. S. 436.

<sup>3)</sup> *A. P. Coleman*, The Lower Huronian Ice Age. Journ. of Geol. 16. Chicago 1908. S. 149.

<sup>4)</sup> *Bailey Willis*, Research in China. Washington 1907.

<sup>5)</sup> bei *Edgeworth David*, l. c.

<sup>6)</sup> *H. Reusch*, Skuringsmärker og morängrus eftervist i Finmarken fra en periode meget ældre end „istiden“. Norges geologiske undersøgelses årbog for 1891.

<sup>7)</sup> *A. Strahan*, The raised Beaches and Glacial Deposits of Varanger Fjord. Quart. Journ. of Geol. Soc. London. 53. 1897. S. 147.



konglomerat am Warangerfjord. Die fossilleere s. g. Gaisaformation, in welcher es liegt, und welche weiter östlich auf der Fischerhalbinsel und der Insel Kildin verbreitet ist, hat der Verfasser <sup>1)</sup> früher für vielleicht devonisch gehalten. Spätere Forschungen auf der Halbinsel Kanin, wo der Berg Rücken Paë aus wahrscheinlich der genannten Formation gehörigen Gesteinen besteht, haben für diese ein höchstens silurisches Alter ergeben, denn sie werden von gothlandischen und devonischen Schichten diskordant überlagert. Ferner sind nach Tanner <sup>2)</sup> die Gaisabildungen im nördlichen Norwegen von den kaledonischen Faltungen beeinflusst worden und daher älter als diese. Brögger <sup>3)</sup> hält diese Formation für eokambrisch. — Vielleicht gehören noch die „Blaini-Beds“, bei Simla, Indien <sup>4)</sup>, die Wilgehout-Driftseries <sup>5)</sup> in Gordonia, S. Afrika, sowie einige der für präkambrisch gehaltenen Vorkommen von Moränenkonglomeraten zu der eokambrischen Abteilung (z. B. Coppermine in Dom. of Canada).

Vom eigentlichen Kambrium scheint man keine glazialen Bildungen zu kennen. Wohl aber haben Walther <sup>6)</sup> und andere aus der Farbe und anderen Eigenschaften der Sedimente sowie aus dem Auftreten gewisser Fossilien (z. B. Hyolithes) geschlossen, dass wenigstens am Anfange der kambrischen Zeit das Klima in einigen Gebieten recht temperiert war.

Einige ältere Angaben über Gletscherblöcke und Mo-

---

<sup>1)</sup> *W. Ramsay*, Neue Beiträge zur Geologie der Halbinsel Kola. Fennia 15, n:o 4. Helsingfors 1899.

<sup>2)</sup> *V. Tanner*, Studier öfver kvartärsystemet i Fennoskandias nordliga delar. I. Bullet. de la commission géol. de Finlande, n:o 18, Helsingfors 1907.

<sup>3)</sup> *W. C. Brögger*, Norges geologi. Norge i det 19. århundrede. Kristiania 1900.

<sup>4)</sup> *Edgeworth David*, l. c.

<sup>5)</sup> *A. W. Rogers*, De jongste geologische onderzoekingen in het Norden van de Kaap-Kolonie. Tijdschr. v. h. K. Nederl. Aardriks Genotsch. Ser. 2. 26. 1909. S. 416.

<sup>6)</sup> *J. Walther*, Geschichte der Erde und des Lebens. Leipzig 1906.

ränkonglomerate im Silur <sup>1)</sup> haben sich teils nicht bewährt, teils als anderen geologischen Niveauen zugehörig erwiesen. Gewöhnlich wird den ordovizischen und gothlandischen Perioden „gleichförmiges“ Klima zugeschrieben, weil die Meeresfaunen von verschiedenen, weit entfernten und in verschiedenen Breiten liegenden Gebieten grosse Übereinstimmung zeigen und Tabulaten, Korallen und andere Riffbauer in Gegenden, die jetzt den kalten Zonen gehören, in voller Tätigkeit waren. So gleichförmig war das Klima doch nicht, denn in den silurischen Systemen kommen Wüstenbildungen vor, ein sicheres Zeichen dass das Landklima differenziert war (vergl. S. 14), und nach Gregory <sup>2)</sup> soll schon in silurischer Zeit die Lebensbedingungen in den auch gegenwärtig zircumpolaren Meeresgebieten ihren Einwohnern ungünstiger gewesen sein, als in polentfernteren Teilen der damaligen Ozeane. Koralle von Grinnell Land, den Neusibirischen Inseln und Timan-Ural sollen im Verhältniss zu ihren Art- und Zeitgenossen von südlicheren Gegenden verkümmert sein. Ohne diese Angaben bezweifeln zu wollen, darf der Verfasser hier anführen, dass er auf der Halbinsel Kanin bei Kuloma (67° 55' N, 46° 30' E v. Gr.) grosse Stöcke von wohl entwickelter *Favosites gothlandica* angetroffen hat.

Im devonischen Systeme kommen wieder glaziale Bildungen vor. Es sind die von Rogers <sup>3)</sup> entdeckten Moränenkonglomerate in der Table mountain Formation, Südafrika. Die älteren Angaben über das Vorkommen von „Boulder Drift“ im Old Red Sandstone in Nordengland und Schottland werden dagegen in neueren Lehrbüchern (z. B. Haug) und Mitteilungen über frühere eiszeitliche Verhältnisse nicht mehr wiederholt (z. B. weder von Gregory und David noch von Frech). Im allgemeinen scheint die Devonperiode von verhältnissmässig milden Klimaten begünstigt gewesen zu sein.

Die Steinkohlenzeit hat wohl auch milde Klimate gehabt, obgleich die Steinkohlenbildung eher auf gewisser-

---

<sup>1)</sup> J. Geikie, The Great Ice Age. Appendix Note A.

<sup>2)</sup> J. W. Gregory, l. c.

<sup>3)</sup> A. W. Rogers, Introduction to the Geology of Cape Colony. London 1905.

maassen temperierte, als auf rein tropische Wärme und Niederschlagsverhältnisse hinweist. Die verschiedenartigen kontinentalen Sedimente des Karbonsystemes deuten auf differenzierte Klimagebiete, und nach Gregory (l. c.) kann man aus der Entwicklung der Fossilien der arktischen Gegenden betreffs des Meeresklimas ähnliche Schlüsse ziehen, wie sie oben für die Silurzeit angeführt wurden. Der Verfasser will hier wieder erwähnen, dass ein wesentlich von *Syringopora parallela* gebildetes Riff bei Rybnaja auf der Halbinsel Kanin sehr grosse und gut entwickelte Stöcke von dieser Art enthält.

Die Verhältnisse veränderten sich aber, und am Ende der Karbonperiode am Übergange zur Permperiode traten die am besten bekannten vorquartären Vereisungen auf. Es sind die durch die Moränenkonglomerate in Indien, Südafrika und Australien bewiesenen permokarbonischen Eiszeiten <sup>1)</sup>. Ähnliche Bildungen von diesen Zeiten kommen in Südbrasilien vor. Ferner haben Karpinsky <sup>2)</sup> und Tschernyschew <sup>3)</sup> solche vom Ostabhang des Ural beschrieben, und der letztere von ihnen parallelisiert sie mit den Talchir Beds in Indien (l. c. S. 728). Heritsch <sup>4)</sup> meint sich in den Alpen Spuren einer permischen Vereisung gesehen zu haben, und Frech <sup>5)</sup> hat auf ein von G. Müller in den Kohlenfeldern bei der Ruhr gefundenes für Morän gehaltenes Konglomerat hingewiesen, welches an der Basis der Rotliegenden auf geschrammter Fläche von karbonischem Tonschiefer liegt.

Die von A. C. Ramsay seinerzeit als glazial bezeichneten permischen Konglomerate in England scheinen im allgemeinen nicht als solche anerkannt zu werden. Um so

---

<sup>1)</sup> Eine Zusammenstellung der bekannten Vorkommen befindet sich bei T. E. David, l. c.

<sup>2)</sup> A. Karpinsky, Versant oriental de l'Oural. Guide des excursions du VII congrès géologique intern. V. St. Petersburg 1897.

<sup>3)</sup> Th. Tschernyschew, Die obercarbonischen Brachiopoden des Ural und des Timan. Mém. du comité géol. de Russie. 16. n:o 2. Siehe S. 710 u. ff.

<sup>4)</sup> F. Heritsch, Spuren einer permischen Vereisung der Alpen. Zeitschr. für Gletscherkunde. II. S. 416.

<sup>5)</sup> F. Frech, Über das Klima der geologischen Periode. N. Jahrb. für Mineralogie etc. 1908. II. S. 74.

unzweifelhafter und gesicherter ist die Bedeutung der oben erwähnten indischen, südafrikanischen und australischen „Tillite“ als Beweise für Vereisungen, die den quartären gleichgekommen sind, ja übertroffen haben. Diese alten Moränen sind nicht von lokalen Talgletschern, sondern von ausgedehnten Inlandseisen abgeladen, die an mehreren Stellen das Meeresniveau erreichten.

In denselben Gegenden wie die erwähnten Moränen kommen andere kontinentale Sedimente vor, deren Eigenschaften ebenfalls auf kaltes oder stark temperiertes Klima deuten, und ferner mag auf das Auftreten der *Glossopteris*-flora daselbst hingewiesen werden. Zugleich erhalten gewisse Tatsachen in der Zusammensetzung und der geographischen Verteilung der Meeresfauna eine gute Erklärung durch die Annahme, dass die Meeresgebiete in der Umgebung der vereisten Länder kälter waren als die davon entfernteren.

Die Bestimmungen der Zeiten, wo diese Vereisungen auftraten, schwanken. Einige Forscher, wie z. B. in neuester Zeit Frech<sup>1)</sup> und Koken<sup>2)</sup>, wollen sie in den Anfang der Permperiode verlegen, andere nach Waagen in die Ural-epoche<sup>3)</sup>. In der Tat sprechen die Tatsachen für gewisse Vorkommen mehr für die eine, in anderen mehr für die andere Ansicht. Vielleicht sind Eiszeiten in den Epochen sowohl gleich vor wie gleich nach der Wende zwischen den Perioden aufgetreten. Es scheint aber, als erlaubte die paläontologische Methode in diesem Falle nicht eine ganz strenge Homotaxis zu geben. Viel eher möchte der Verfasser behaupten wollen, dass irgend welche bedeutendere Klimaveränderung in einem Gebiete nicht vorsichgehen kann ohne in anderen Gegenden Veränderungen mit sich zu führen, so dass bei einer so grossen Klimaverschlechterung, wie z. B. die indische und australische Vereisung angiebt, damit korrespondierende Erscheinungen auf der ganzen Erde sich haben offenbaren müssen. Darum könnte man eher voraussetzen,

---

<sup>1)</sup> *F. Frech*, l. c.

<sup>2)</sup> *E. Koken*, Indisches Perm und die permische Eiszeit. Neues Jahrb. für Mineralogie etc. Festband 1907. S. 446.

<sup>3)</sup> bei *Haug*, *Traité de géologie*. II. Paris 1909. S. 827.

dass die vielen Vereisungen etwa gleichzeitig waren, und ihr Auftreten als Ausgangspunkt für die Homotaxis benutzen.

In den späteren Abteilungen der Permperiode und noch mehr während der Triaszeit wurden die Klimate wieder viel wärmer. Frech <sup>1)</sup> hat dies überzeugend auseinandergesetzt. Gleichförmig waren sie jedoch nicht. Der Wüstencharakter ausgedehnter Gebiete weist auf einen Tropengürtel mit reichlichem Regen hin.

Die Juraperiode macht nach den Schilderungen aller Geologen den Eindruck einer ruhigen Zeit mit „gleichförmigem“ mildem Klima. In hohen nördlichen und südlichen Breiten <sup>2)</sup> hat man Überlieferungen von üppigen Vegetationen gefunden. Dieses bipolare Auftreten derselben spricht nicht zu Gunsten für Gregorys <sup>3)</sup> Annahme, dass die Pflanzenreste in den arktischen Ländern nicht autochton, sondern von Flüssen und Meeresströmungen aus fernliegenden südlichen Gegenden transportiert und auf ihre jetzigen Fundorte zusammengeschwemmt worden sind. — Bekanntlich weisen die Unterschiede der tiergeographischen Provinzen in der Juraperiode schon auf klimatische Verschiedenheiten in den damaligen Ozeanen hin.

In der Kreideperiode treten, wie allgemein zugegeben wird, Klimazonen schon deutlich hervor und scheinen in der Hauptsache mit einer mit der gegenwärtigen übereinstimmenden Äquatorlage verbunden zu sein. Riffbauer und andere der tropischen Tierwelt eigene Formen lebten nicht mehr in den Polarmeeren oder in höheren Breiten. Die in mehreren arktischen Ländern gefundenen Pflanzenfossilien deuten aber noch auf Klimaverhältnisse, die mit den subtropischen und sogar mit den tropischen verglichen worden sind.

Von zwei beinahe antipodischen Gebieten, Australien und England, wird das Vorkommen von Glazialgeschieben

---

<sup>1)</sup> Frech, l. c.

<sup>2)</sup> J. G. Andersson, On the Geology of Graham Land. Bull. of the Geol. Inst. Upsala. Vol. 7. S. 19.

A. G. Nathorst, Sur la flore fossile des régions antarctiques C. R. de l'acad. française. (Juin 1904).

<sup>3)</sup> Gregory, l. c.

im Kreidesystem erwähnt. Im ersteren hat Brown <sup>1)</sup> solche in der oberen Kreide in Südastralien gefunden. Ihre Entstehung während dieser Periode wird doch aus guten Gründen von David und anderen bezweifelt, und ihr Vorkommen auf andere Weise erklärt. Im zweiten Gebiete begegnet man, auch in der oberen Kreide, Blöcken mit Schrammen <sup>2)</sup>, die unter anderen von Gregory als Beweise für ihre glaziale Herkunft gehalten werden. Solche Blöcke können aber auf andere Weise gekritz und transportiert worden sein, und gegen ihre Beweiskraft für eine kretazische Vereisung stehen folgende Tatsachen. Die in den Schichten mit den Blöcken zusammen gefundenen Fossilien sprechen allerdings nicht für tropische Klimaverhältnisse, aber auch lange nicht für glaziale. Es sind in keiner Gegend echte Moränenbildungen in den kretazischen Ablagerungen angetroffen worden, und höchst wahrscheinlich kamen weder in England noch in benachbarten Gebieten in der späteren Hälfte der Kreideperiode hohe Gebirgsgegenden vor, in welchen Gletscher hätten entstehen können. Ferner kamen wohl keine Eisberge von den nordatlantischen und arktischen Kontinenten, deren Floren auf sehr günstige Klimate hindeuten, und wo nirgends, ebenso wenig wie in den antarktischen Gegenden, Moränenkonglomerate im Kreidesystem gefunden worden sind. Die von Gregory als glaziale Bildungen angeführten Konglomerate von Spitzbergen, werden von anderen Kennern dieser arktischen Inseln als solche nicht anerkannt.

Dass die Tertiärzeit mit sehr milden und günstigen Klimaten in den hohen Breiten angefangen hat, ist allgemein anerkannt, ebensowie, dass die Klimaverhältnisse im Laufe dieser Periode sich allmählich in die der quartären Eiszeit verändert haben.

Eine Zusammenfassung des oben gegebenen Überblickes ergibt, dass während der vier seit dem Eokambrium verfloffenen geologischen Zyklen folgende Zeiten miotherm waren:

---

<sup>1)</sup> bei *David*, l. c.

<sup>2)</sup> *J. Geikie*, l. c.

1) Die eokambrische Zeit.

2) Irgend eine devonische Epoche, wahrscheinlich eodevonisch.

3) Epochen an der Wende zwischen der Karbon- und der Permperiode, nämlich die Uralepoche oder eine eopermische Epoche oder beide.

4) die Quartärzeit und die Gegenwart, mit Beginn von miothermen Verhältnisse schon in der Pliozänepoche.

Zu einer ähnlichen Auffassung ist Haug gekommen, der in seinem Lehrbuch (l. c.) den Klimaverhältnissen der Vergangenheit und dem Auftreten von Eiszeiten besondere Aufmerksamkeit gewidmet hat. Die Zusammenstellung, die David über die uns bekannten und sicheren Eiszeiten giebt, zeigt ebenfalls solche in folgenden Systemen an, nämlich im Präkambrium, Unteren Kambrium, Devon, Permokarbon und Pleistozän. Als zweifelhaft wird noch die obere Kreide mitgerechnet. Frech hält nur die permokarbonischen und die quartären Eiszeiten für festgestellt.

Alle andere Perioden waren pliotherm. In den während derselben gebildeten Systemen kommen nicht einmal in hohen Breiten glaziale Ablagerungen vor. Im Gegenteil enthalten die Sedimente Überlieferungen von Tier- und Pflanzenwelten, die günstige, warme Klimaverhältnisse für ihr Gedeihen fordern. Wenn seit den Zeiten ihres Lebens keine, oder nur unbedeutende Polverlegungen stattgefunden haben, und diese Fossilien uns einen Einblick in die zircumpolaren Verhältnisse der Vergangenheit geben, ist es ersichtlich, dass glaziale Klimate sich noch weniger in niedrigeren Breiten haben ausbilden können. Wenn dagegen die polnahen Gegenden, in welchen wir den wärmeliebenden Organismen begegnen, erst durch Polverlegung in ihre gegenwärtige geographische Lage geraten sind und glaziales Klima auch in den zu diesen Zeiten kältesten Gegenden herrschte, sollte man jetzt irgendwo in niedrigeren Breiten Moränenkonglomerate und andere glaziale Bildungen in den Umgebungen der früheren Polstellen finden, und sowohl die Fossilien wie die Beschaffenheit der Sedimente in den so verlegten kalten Zonen der Vorzeit müssten auf kaltes Klima hindeuten.

Solche Tatsachen sind aber nirgends in den oben als pliotherm angegebenen Systemen beobachtet worden, während dagegen von den miothermen Epochen Moränenkonglomerate meist nicht von einem, sondern von mehreren Gebieten bekannt sind.

Man hat vermutet dass auch während der warmen geologischen Zeiten in sehr hohen Gebirgsgegenden Gletscher hätten entstehen und Moränen sich ablagern können. Aber der milden Klimate wegen müssen die Schneegrenzen viel höher gelegen haben als gegenwärtig, und da gerade während der für pliotherm gehaltenen Perioden das Relief in hohem Grade degradiert war, ist es wahrscheinlich, dass nicht einmal ganz geringe Landeise zu diesen Zeiten sich bildeten. Übrigens sind die Aussichten solche Moränen der älteren Perioden anzutreffen, die in Hochgegenden angehäuft wurden, sehr klein, sogar wenn von den miothermen Systeme die Rede ist, weil die überhöhten Teile der Erdrinde, mit allen ihren Bergen, Tälern und Ablagerungen, am ehesten der Abtragung anheim gefallen und von der Erdoberfläche verschwunden sind. Erst wenn die Moränen in Tieflagen oder irgendwelchen Ackumulationsgebieten abgelagert wurden, wo sie der Abtragung nicht ausgesetzt, sondern von anderen Sedimenten überschichtet wurden, hatten sie Aussicht sich lange zu erhalten. Darum ist es schon a priori wahrscheinlich, dass die noch existierenden glazialen Bildungen der fernliegenden geologischen Perioden von Inlandseisen in tief liegenden Gegenden abgeladen sind, und eben deswegen ist ihre Beweiskraft für die Klimafragen noch grösser.

Eine Zusammenstellung der Angaben über den Wechsel von mio- und pliothermen Zeiten sowie über die zyklisch auftretenden höheren und niedrigeren Grade von Deformation der Erdoberfläche zeigt nun, dass die kältesten Perioden mit den Zeiten zusammenfallen, als die Berge und Landmassen ihre grössten Höhen erreichten, während die wärmsten Perioden den Zeiten von grösster Denivellierung des Reliebes entsprechen.

Man kann ferner ein allmähliches Sinken der Temperatur gleichzeitig mit dem Unebenerwerden des Reliebes während der Tertiärzeit wahrnehmen. Wahrscheinlich fand



etwas ähnliches in der Karbonzeit und älteren miotherm werdenden Zeiten statt. Und mit der allgemeinen quartären Transgression und dem Niedrigerwerden der Höhenverhältnisse haben sich die Klimaverhältnisse zu verbessern angefangen.

Vielleicht kann man in dem von Frech betonten Kälterwerden am Ende der Jura- und Anfang der Kreidezeit eine Einwirkung der damit gleichzeitigen ersten orogenetischen Phase des alpinischen Zyklus spüren.

### 3. Klima und Relief.

Wie ist nun der vorausgesetzte Zusammenhang zwischen Orogenesis und Klima zu erklären?

Es ist dies wohl kaum möglich mit Hilfe der verschiedenen astronomischen Eiszeithypothesen. Ebenso wenig sind die Hypothesen, welche die Klimaschwankungen in Abhängigkeit von langdauernder Herabsetzung resp. Erhöhung der Sonnenstrahlung stellen, anwendbar, weil es unwahrscheinlich ist, dass die Krisen der Erde, welche zur Gebirgsbildung führen, von Krisen in der Sonne bedingt wären.

Die wesentlich zur Erklärung des Vorkommens einerseits von glazialen Bildungen der Vorwelt in niedrigen Breiten und andererseits von Überlieferungen von Licht und Wärme liebenden Floren und Faunen in hohen Breiten angenommenen Polverlegungen sind allerdings von M. Bertrand <sup>1)</sup>, Arldt <sup>2)</sup>, Kreichgauer <sup>3)</sup> und anderen in Zusammenhang mit der Gebirgsbildung gestellt worden, und auch der Verf. hält es nicht für ausgeschlossen, das recht grosse Breitenverdrehungen im Zusammenhang mit den orogenetischen Ereignissen stattgefunden haben, sei es als Ursache oder als Folgewirkung. Die Polverlegungstheorie enthält indessen eine Erklärung des Klimaproblemles nur insofern, als die Klima-

---

<sup>1)</sup> *M. Bertrand*, Déformation tétraédrique de la terre et déplacement du pôle. C. R. de l'acad. Sc. V. 130. 1900. S. 449.

<sup>2)</sup> *Th. Arldt*, Die Entwicklung der Kontinente und ihrer Lebewelt. Leipzig 1907.

<sup>3)</sup> *P. D. Kreichgauer*, Die Äquatorfrage in der Geologie. Steyl 1902.

schwankungen auf Verschiebungen der Klimagebiete zurückzuführen wären, und vorausgesetzt dass während aller geologischen Perioden glaziale Verhältnisse in den zu jeder Zeit hohen Breiten geherrscht hätten, was aber nicht der Fall gewesen ist.

Es läge nahe anzunehmen, dass der äussere thermische Zustand der Erde vom inneren beeinflusst wird. Eine solche Hypothese ist in der Tat noch neulich<sup>1)</sup> veröffentlicht worden, und sogar Zenker<sup>2)</sup> hat behauptet, dass die vom Erdinneren abgegebene Wärmemenge für sich allein die Temperatur der Atmosphäre auf  $-73^{\circ}$  abs. zu erhalten vermag. Wenn dem wirklich so wäre, könnte man die Klimaschwankungen am einfachsten damit erklären, dass sie von denjenigen Veränderungen des inneren thermischen Zustandes abhängen, die auch die orogenetischen und eruptiven Vorgänge verursachten. Eine solche Erklärung ist indessen nicht haltbar. Denn, wie wir annehmen müssen, erhöht die Erdwärme die Temperatur auf der Erdoberfläche nur unbedeutend ( $0^{\circ},1$ )<sup>3)</sup> und seit präkambrischen Zeiten ist der äussere thermische Zustand fast ausschliesslich von der Sonnenstrahlung abhängig gewesen.<sup>4)</sup>

Es erübrigt dann die Ursachen des vorausgesetzten Parallelismus zwischen Orogenesis und Klima in solchen terrestrischen Umständen zu suchen, die von der Gebirgsbildung abhängen und durch deren Änderungen die der Erde von der Sonne gespendete Wärme besser oder schlechter ausgenutzt wird.

Dabei kommt zunächst die von Arrhenius ersonnene Erklärung des Klimaproblemles in Betracht. Da nämlich die Gebirgsbildung mit tangentialen Spannungen in der Erd-

---

<sup>1)</sup> *Marsden Manson*, Climats des temps géologiques. C. R. du Congrès Géol. Intern. X:e Session. Mexico 1906. I.

<sup>2)</sup> *W. Zenker*, Der thermische Aufbau der Klimate. Nova Acta der K. Leop.-Carol. Deutsche Academie der Naturforscher. 68. N:o 1. Halle 1895.

<sup>3)</sup> *J. Hann*, Lehrbuch der Meteorologie. Leipzig 1891. S. 23. — *S. Arrhenius*, Lehrbuch der kosmischen Physik. Leipzig 1903. S. 284.

<sup>4)</sup> Einer der ersten, welche diesen Gedanken klar ausgesprochen haben, ist Sartorius von Waltershausen.

kruste verbunden ist, wäre es denkbar, dass das Stadium der kräftigsten Zusammenpressung das Einstellen der Erup- tivität <sup>1)</sup> und des Kohlendioxydzufuhres und somit eine Eis- zeit zu Folge hätte. Aber da sonst die orogenetischen Pha- sen der Zyklen durch bedeutende vulkanische Tätigkeit ausgezeichnet gewesen sind und andererseits manche pliother- men Perioden durch sehr gerinfügige Magmabewegungen und -ausbrüche gekennzeichnet gewesen sind, scheint die Kohlendioxydhypothese, trotz ihren einladenden Vorzügen und trotz der grossen Bedeutung des Kohlendioxydes für die Wärmehaushaltung, nicht mit dem Gang der geologischen Geschichte ganz vereinbar zu sein.

Es muss eine andere Erklärung gesucht werden, und die einfachste und mit den Tatsachen best übereinstim- mende Annahme ist folgende. Das Relief der Erdoberfläche übt einen so grossen Einfluss auf die Klimate ein, dass miotherme Zustände sich einstellen, wenn die Festländer gebirgig und uneben sind, pliotherme, wenn sie eingeeb- net sind.

Es ist ja eine festgestellte Tatsache, dass in jedem ein- zelnen Gebiete die Bodenkonfiguration und -erhebung das Klima modificieren, und dass mit wachsender Meereshöhe dasselbe immer kühler und bei genügender Höhe glazial wird. Ferner wirken Höhenrücken und Berge als Nieder- schlagskondensatoren, Wetter- und Klimascheiden u. s. f. Weniger allgemein wird aber gedacht oder zugegeben, dass die jetzt bestehenden Reliefverhältnisse nicht nur lokal die Klimate beeinflussen, sondern für die Wärmehaushaltung der ganzen Erde weniger günstig sind, als eine mehr denivel- lierte Gestaltung der Erdoberfläche.

Man könnte allerdings gegen die Annahme einer solchen Bedeutung des Reliefs für die Klimate anführen, dass die nördliche Erdhälfte, welche viel mehr unebene und gebirgige Festländer trägt, als die südliche, eine höhere mittlere Tem-

---

<sup>1)</sup> *Frech* hat wiederholt auf das Aufhören der Eruptionen in frühpermischer Zeit und ihre starke Verminderung in der Pliozän- epoche hingewiesen, nämlich: *Lethaea geognostica* 1. T. II. Stuttgart 1902. S. 668; *Zeitschr. Erdkunde*. Berlin 1906. S. 357; *Neues Jahrb. für Mineralogie etc.* 1908 II. S. 74 u. s. w.

peratur und für die höheren Breiten auffallend bessere Klimate aufweist, als diese. Dieser Widerspruch ist aber nur scheinbar. Denn die Nordhalbkugel hat seine grössere Wärmemengen von der Südhalbkugel bekommen. Sehr beträchtliche Teile der im Tropengürtel erwärmten Wassermengen der Ozeane werden nämlich mit den Meeresströmungen von der Südseite des Äquators nach der Nordseite geführt. Diese Tatsache tritt sehr deutlich im atlantischen Äquatorialstrom hervor, welcher dem Golfstrom einen Hauptteil seiner warmen Wassermassen verschafft. Die auf diese Weise von der Südhälfte zur Nordhälfte als warmes Oberwasser getriebenen Wassermengen müssen wieder mit kaltem Unterwasser von der Nordhälfte ersetzt werden. Dadurch gestalten sich die Verhältnisse für die Südhälfte noch ungünstiger. In Folge dieser Umstände werden nicht so grosse Wärmemengen mit den Meeresströmungen in der Richtung gegen den Südpol geführt, wie gegen den Norden und die Mächtigkeit des warmen Oberwassers ist in den Südmeeren viel geringer als bei entsprechenden Breiten in den Nordmeeren. Da nun die höheren Jahrestemperaturen, welche die nördlichen Breiten im Vergleich mit den südlichen aufweisen, ausschliesslich durch den Wärmezustand der Meeresgebiete erhalten werden, und sogar auf Kosten der südlichen Erdhälfte, beweisen sie nichts gegen die Annahme, dass ein gebirgiges und unebenes Relief die mittlere Temperatur der ganzen Erde herabbringen kann. Ferner ist die die im Vergleich mit den Verhältnissen am Nordpol viel grössere Kälte und Vereisung der Antarktis gerade eine Folge des Vorkommens eines (oder mehrerer) grossen und hohen Kontinente dortselbst, während die von einem weiten Meer bedeckte Nordkalotte eingeebnete Reliefverhältnisse aufweist.

Am deutlichsten kommt die Bedeutung des Reliebes für die Ausbildung von miothermen Verhältnissen in den Vereisungen zum Vorschein. Der Hauptgedanke der Elevationshypothese ist darauf begründet. Denn selbst in den hocharktischen Ländern befinden sich die klimatischen Schneegrenzen noch auf einer beträchtlichen Meereshöhe. Deshalb sollten nach einer Denivellierung aller Festländer

bis zum Peneplaineniveau keine Inlandseise und Gletscher mehr existieren oder entstehen können. Damit würde schon das eine Kennzeichen für einen pliothermen Zustand, nämlich das Nichtvorkommen von glazialen Gebieten, erfüllt sein. Es fragt sich, ob auch das andere, erhöhte Temperatur und Klimaverbesserung, sich einstellen dürfte. Bevor wir darauf antworten, wollen wir uns an die Wirkungen erinnern, welche eine Schnee- (und Firn-) decke auf das Klima ausübt. <sup>1)</sup>

Schneebedeckung ist insofern für das Klima günstig, als sie den Boden gegen allzu schnelle und tiefe Abkühlung während des Winters verhütet. Aber abgesehen davon bringt sie immer die Temperatur herunter. Eine Schneeoberfläche reflektiert 50—80 % der Sonnenstrahlung zurück und nimmt deshalb einen viel geringeren Teil davon auf, als der nackte Boden oder die freien Wasserflächen. Die von den Schneefeldern zurückgeworfenen leuchtenden Strahlen dienen lange nicht in dem Grade zur Erwärmung der Atmosphäre wie die dunkle Erdstrahlung. Ferner strahlt der Schnee seine eingestrahlte Wärme schneller aus als der Boden und nimmt umgekehrt dadurch viel mehr von der Rückstrahlung der Atmosphäre auf. Darum ist die Luft, wie man es besonders bei ruhigem Wetter beobachten kann, über einer Schneefläche *ceteris paribus* mehr abgekühlt als über schneefreiem Boden. Der Wärmeverlust durch Ausstrahlung in schneebedeckten Gegenden wird noch mehr erhöht dadurch, dass die Feuchtigkeit der Luft verhältnismässig niedrig ist, und dass bei den oft antizyklonalen Windbewegungen der Himmel wenig bewölkt ist. Selbst in den Polargegenden fällt dieser letztere Umstand auf, wie z. B. die Beobachtungen der englischen antarktischen Expedition 1901—1904 zeigen <sup>2)</sup>.

Eine ebenso grosse oder noch grössere Rolle als die Strahlungsverhältnisse spielen die Vorgänge bei der Bildung und der Schmelzung des Schnees (und Eises), welche je

---

<sup>1)</sup> A. *Woelikoff*, Gletscher und Eiszeiten in ihrem Verhältnisse zum Klima. Zeitschr. der Gesellsch. für Erdkunde. Berlin 1881. S. 217. Ders., Die Klimate der Erde. I. Jena 1887. S. 56 u. ff.

<sup>2)</sup> Referat in der Meteorologischen Zeitschrift. 26. 1909. S. 289.

nach dem Sinn der Umwandlung etwa 79 cal. pro g. freimachen oder binden, d. h. die Wärmemenge, welche zum Schmelzen eines gewissen Volumens Eises nötig ist, könnte die Temperatur eines 230000-fachen Volumens trockener Luft um 1° steigern. Nun geschieht die Schneebildung in sehr hohen Regionen der Atmosphäre, die Schmelzung an der Erdoberfläche. Die Wärmemengen, welche durch die Schneebildung entbunden werden, dienen zum Teil als Kompensation der dynamischen Wärmeverluste der gestiegenen Luftmassen, zum grossen Teil aber als Ersatz für die Strahlungsverluste gegen den Weltraum und gehen für die tieferen Luftschichten und die Erdoberfläche fast vollständig verloren. Die Schmelzung erfordert darum ganz neue Wärmevorräte. Da weiter diese entgegengesetzten Vorgänge nicht nur räumlich, sondern auch meistens zeitlich getrennt sind, werden ihre Wirkungen noch unvorteilhafter. Der Schnee fällt gewöhnlich in den Jahreszeiten, da die an die Erdoberfläche gelangende Sonnenstrahlung ihre geringste Energie hat oder ganz ausbleibt <sup>1)</sup>. Wo der Schnee den Winter über oder beständig liegen bleibt, erfordert seine Schmelzung einen sehr beträchtlichen Teil des Kalorienvorrates der wärmeren Jahreszeit, und meistens ist die Insolation allein nicht ausreichend für diese Arbeit, sondern muss dazu noch Wärme von ferner liegenden Gegenden mit Meeres- und Luftströmungen zugeführt werden. Da die Temperatur nicht erheblich steigen kann, so lange die Schmelzung andauert, haben Länder mit viel Winterschnee kühle Frühlinge und Vorsommer im Gegensatz zu den schneearmen Gegenden in denselben Breiten, wo der Boden und die Luft rasch erwärmt werden (z. B. Sibirien), und in allen vereisten Polargebieten und Hochgebirgen sind die Sommertemperaturen stets niedrig.

Da die Gegenden, welche sich über die Schneegrenzen erheben, die ihnen zukommende Wärme so schlecht verwerten, dass sie sich nur von einem Teil des jährlichen

---

<sup>1)</sup> Eine Ausnahme hiervon bilden z. B. die Verhältnisse in gewissen antarktischen Gegenden, wo die reichlichsten Schneefälle während des Südsommers eintreffen.

festen Niederschlages befreien, so leiden sie nicht nur selbst beständig an den oben angeführten Nachteilen der Schneebedeckung, sondern belästigen auch ihre Umgebung damit, indem sie ihr den gesammelten Überschuss von Firn und Eis zum Schmelzen übergeben und ihr dadurch grosse Mengen von Wärme rauben, die sonst zur Erhöhung der Temperatur gedient hätten <sup>1)</sup>. Diese Abkühlung muss die Schneegrenze noch mehr nach unten versetzt und ein weiteres Zuwachsen der Gletscher bewirkt haben, bis endlich die grössere Wärme in den tieferen Niveauen den Vereisungen einen dauernden, wenn auch je nach den jährlichen oder längeren Klimaperioden schwankenden Widerstand hat leisten können. Aber nicht nur die nächste Umgebung, sondern auch fernere Gegenden fühlen den üblen Einfluss der beständigen Schnee- und Eisfelder. Das Schmelzwasser von den Gletschern strömt zu tieferen Gegenden hinab und erniedrigt bei seiner Erwärmung die Temperatur der Luft und des Bodens. Noch bedeutender ist aber die Abkühlung des Meereswassers durch die von den Gletschern gekalbtten Eisberge, die ja häufig erst bei niedrigen Breiten schmelzen. Dadurch werden die Meeresgebiete des kalten Oberwassers

---

<sup>1)</sup> Hiergegen könnte vielleicht eingewendet werden, dass der Schnee sich nicht auf dem Boden, sondern in hochliegenden Schichten der Atmosphäre unabhängig vom Relief der Erde bildet, und dass, da jährlich durchschnittlich dieselben Schneemengen herunterfallen und dasselbe Quantum von Schmelzwärme erfordern, einerlei, ob das Schmelzen in der Luft, in den Firngebieten, in Gletscherzungen oder auf dem Boden unterhalb der Schneegrenze vorsichgeht, die vergletscherten Gebiete schliesslich für die ganze Wärmebilanz der Erde nicht unvorteilhafter wären als die unvergletscherten Gebiete in denselben Breiten. Dies entspricht aber nicht dem wahren Sachverhalte. Denn wenn sich eine Gegend unter der Schneegrenze befindet, kann die ihr durch Insolation und von Luftströmen zugeführte Wärme den jährlichen festen Niederschlag bewältigen. Wenn dagegen eine Gegend über dieses Niveau emporragt, geht schon ein so grosser Teil der Wärme in Folge der weniger gehemmten Ausstrahlung gegen den Weltraum ab, dass der Rückstand nicht mehr die nötige Schmelzungsarbeit auszuführen vermag. Diese muss in der Umgebung ausgeführt werden, welche dazu ebenso viel Wärme zugeben muss, wie die Firngebiete von ihrer Wärmeeinnahmen so zu sagen unbenutzt verschwendet haben.

vergrössert und die Massen von kühlem Unterwasser vermehrt, die in der Tiefe der Ozeane bis an den Äquator und sogar über denselben (S. 28) gelangen. In den niedrigen Breiten kann darum das Meer nicht so hoch erwärmt werden, oder die warme obere Schicht nicht so mächtig werden, als wie wenn die Eismassen und das kalte Wasser der Polar-meere nicht durch die Zugaben der Gletscher vermehrt würden. In Folge dessen führen die polwärts gehenden Meeresströmungen nicht so grosse Wärmemengen mit sich, wie es beim Nichtvorhandensein von vereisten arktischen Ländern der Fall wäre. — Da die Meeresströmungen eine sehr bedeutende Einwirkung auf die Klimate der Erde haben, kann man somit behaupten, dass auch die Vereisungen die Klimate der ganzen Erde beeinflussen. Die Vereisungen aber treten nur in Gegenden mit erhöhtem Relief auf, und somit hat das Relief schon auf diese Weise nicht nur eine lokale, sondern allgemeine Bedeutung für die Klimate der Erde.

Nach der oben gegebenen Darstellung können wir die auf der S. 29 aufgestellte Frage bejahend antworten. Denn soviel man nach den Verhältnissen in anderen Gegenden, die unter der klimatischen Schneegrenze liegen, urteilen darf, würde auch in den jetzt vereisten Gebieten, wenn sie angenommenermassen denivelliert wären, kein beständiger Schnee sich häufen. Infolge dessen würde die Insolation während der schneefreien Jahreszeit, wie kurz auch immer diese wäre, kräftiger und die Sommertemperatur grösser als jetzt werden in Gegenden, wo jetzt die Temperatur in den besten Fällen kaum über den Frierpunkt steigen kann. Da ferner die Wintertemperaturen in Folge der gedachten Umgestaltung des Relieffes nicht herabgesetzt wären, würden die Jahrestemperaturen grösser ausfallen als jetzt.

Noch wichtiger aber ist der Umstand, dass der ungünstige Einfluss der vereisten Gebiete auf ihre Umgebungen aufhören würde. Denn all die zur Verflüssigung der Gletscher und der von ihnen gekalbtten Eisberge verbrauchte Wärme würde zur Erhöhung der Temperatur der Atmosphäre dienen. Schon für die Teile der Erde, wo die schneebedeckten Hochgebirge abgetragen sein würden, bedeutete diese bessere Verwendung der Wärme viel, aber noch beträcht-



licher müssten ihre Wirkungen in den von den warmen Meeresströmungen begünstigten hohen Breiten sein. Die vom Meere erwärmte Luft würde nunmehr nicht durch die schmelzenden Eismassen abgekühlt werden, und das warme Meereswasser, welchem die Verzehrung der gekalbtten Eisberge jetzt obliegt, könnte das Packeis kräftiger angreifen, dessen Ausbreitung dadurch immer eingeschränkter werden würde. Die warmen Meeresareale wüchsen an, die kalten aus hohen Breiten kommenden Meeresströmungen würden unbedeutender sein, und das kalte Tiefwasser der Ozeane jährlich immer geringere Zuschüsse erhalten. Das bei niedrigen Breiten erwärmte Oberwasser sollte infolgedessen grössere Ausdehnung nach den hohen Latituden hin und eine grössere Mächtigkeit erlangen.

Mit Rücksicht auf den grossen Einfluss der Meere auf die Klimate der Festländer, besonders in höheren Breiten und ostwärts von den Ozeanen, leuchtet es ein, dass die Steigerung der Wärmeverräte der Meere die davon abhängigen Landklimate erheblich verbessern würden, um so mehr als bei der vorausgesetzten allgemeinen Denivellierung der Kontinente keine Bergrücken den freien Eingang und die Ausbreitung der feuchten warmen Winde verhindern sollten. Der in fester Form auf die Festländer fallende Teil des jährlichen Niederschlages sollte kleiner werden, die Mächtigkeit und Dauer der Schneebedeckung nähmen ab, was alles die unvorteilhaften Wirkungen derselben vermindern würde.

Die zum Schmelzen der Gletscher und Eisberge verbrauchte Wärmemenge ist gering im Verhältniss zur ganzen Einstrahlung an die Erde, aber die Wirkungen dieser durch das Aufhören der Vereisungen gewonnene Wärmequantität würden sich von Jahr zu Jahr summieren, bis der äussere thermische Zustand so viel wärmer geworden wäre, dass die Vermehrung der Erdstrahlung in Folge der erhöhten Temperatur dieser Quantität (oder der gegenwärtigen Wärmever Verschwendung in den Schneeregionen; Note S. 31) gleichkommen sollte. Der Verfasser finde es sehr wahrscheinlich, dass die Klimaverbesserung so weit gehen kann, dass das nördliche Eismeer auch im Winter eisfrei bleibt oder dass

sich wenigstens keine grössere Mengen von Feldeis bilden, als wie sie im Sommer wieder schmelzen. — Die Eisdecke schützt allerdings das Meereswasser vor erkältender Ausstrahlung in der dunklen Jahreszeit, während welcher die Einstrahlung ausbleibt, aber mit der steigenden Temperatur des Meereswassers würde die erwärmte Luft reicher an Wasserdampf sein, welcher Umstand nebst der wahrscheinlich sehr vermehrten Bewölkung im Winter denselben Schutz leisten könnte.

Bis jetzt wurde in erster Linie an die Verhältnisse der nördlichen Halbkugel gedacht. Für die Südhemisphäre lässt sich die oben entwickelte Vorstellungsreihe nicht einpassen, wenn, wie alle Kenner der antarktischen Verhältnisse behaupten, die Schneegrenze schon in Breiten von  $60^{\circ}$ — $70^{\circ}$  zum Meeresniveau hinabreicht. Die Forscher wollen nämlich die Schneelosigkeit mancher Gebiete entweder den topographischen Verhältnissen (Steilabhänge) oder den Stürmen und der Verdunstung zuschreiben. (Die schwedische Expedition der Jahre 1901—1903 fand die grössten Schneefälle während des südlichen Sommers vor; im Winter wurden die Schneemassen von Stürmen weggefegt). Soweit es von der auf die Schneemassen ausgeübten mechanischen Tätigkeit der Winde abhängt, ist darum die Nacktheit des Bodens kein Beweis für eine höhere Lage der Schneegrenze. Aber wenn sie durch Verdunstung zustande gekommen ist, beweist sie grade, dass hier Wärme genug (Schmelzwärme + Verdampfungswärme) zugeführt wird, um den Niederschlag zu beseitigen, und dann befindet sich doch die klimatische Schneegrenze über dem Niveau des Meeresoberfläche. Einen Beweis für die Lage der Schneegrenze am Meeresniveau liefert doch der jährliche Zuwachs auch des Schelfeises <sup>1)</sup> durch Schneefälle, die von Jahr zu Jahr liegen bleiben und sich verfirnen.

Wenn es aber einem Nichtkenner der antarktischen Verhältnisse erlaubt ist, auf Grund der Schilderungen der kühnen Erforscher derselben, eine eigene Ansicht zu hegen, möchte der Verfasser folgende Vermutung aussprechen.

<sup>1)</sup> O. Nordenskjöld, Die Polarwelt und ihre Nachbarländer, Leipzig 1909. S. 81.

In der Nähe der Schneegrenzen findet man oft, dass die Beschaffenheit der Gesteine einen gewissen Einfluss auf die Ausbildung der Schneefelder hat, und ferner dass, wo sich einmal ein Schneefleck leicht bildet, dieser auch beharrt und anwächst, während andere Partien des Bodens sehr ungern die weisse Kleidung anziehen. Unter anderen hat O. Nordenskjöld <sup>1)</sup> auf diesen Umstand hingewiesen. Nun ist der Unterschied im Bezug auf die Insolation ungemein viel grösser zwischen Schnee, Firn und Eis auf der einen Seite und Gestein auf der anderen, als zwischen verschiedenen Arten von Gesteinen. Es wäre darum denkbar, da die Schneegrenze keine kontinuierliche Niveaufläche sein braucht, dass hier so zu sagen zwei Arten von klimatischen Schneegrenzen in derselben Gegend auftreten, die eine auf den Eisfeldern, die andere höher gelegene auf dem Festland. Auf jenen kann nicht so viel Schnee schmelzen und verdunsten, als er fällt, auf den niedrigeren nicht vergletscherten Teilen des Festlandes ist dies dagegen möglich. Eine Erscheinung derselben Art sehen wir jeden Frühling in unseren Gegenden, wo der Schnee auf den Eisdecken des Meeres und der Seen noch lange liegen bleibt, nachdem das Land baar geworden ist. Eine Stütze für seine Deutung der Verhältnisse findet der Verfasser darin, dass es nach den Reiseberichten der Südpolsexpeditionen an mehreren Stellen (Viktorialand z. B.) sogar grosse Gletscher giebt, die das Meeresniveau nicht erreichen, sondern durch einen schneefreien Landstreifen von der Küste getrennt sind. Die Gletscher enden wohl kaum oberhalb der klimatischen Schneegrenze, und unter den angeführten Ursachen zum Verschwinden des Schnees vom Boden können kaum die Stürme das Gletschereis wegeblasen. Sofern aber ihre Verminderung, ausser durch Schmelzen, durch Verdunstung geschieht, ist dies ein klimatischer Faktor, welcher die Schneegrenze bestimmt, und kann er einen Gletscher in seinem Vorrücken aufhalten, so erhöht er wohl die Schneelinie wenigstens bis zu demselben Niveau.

---

<sup>1)</sup> O. Nordenskjöld, Die Polarwelt und ihre Nachbarländer. Leipzig 1909. S. 78.

Das Zustandekommen der antarktischen Vereisungen von Land und Meer denkt der Verfasser sich auf folgende Weise. Die klimatische Schneegrenze lag höher als das Meeresniveau. Aber da der Südkontinent (oder Komplexe von solchen) sich über demselben erhob, wurde er vergletschert. Der Wärmeverbrauch bei der Ablation der Eismassen senkte die Temperatur und die Schneegrenze noch mehr, und das Inlandseis wuchs immer mehr an. Sobald die Gletscher das Meer erreichten, entnahmen sie demselben seine Wärme, und das Meer kühlte sich in der Umgebung des Südkontinentes so ab, das Feld- und Packeis sich in grossen Massen bilden konnten. Auf den Feldern von zusammengetriebenen Eisbergen und Meereis häufte sich von Jahr zu Jahr immer mehr Schnee an, welcher sich verfirnte, und so entstanden die Schelfeise, die ihrerseits durch Abkühlung der Luft auf die Temperatur der Festländer zurückwirkten, so dass schliesslich nur sehr geringe Partien von denselben beständiger Verschneeuung entgangen sind.

Wenn wir wiederum annehmen wollten, dass die Eiskappe von den südlichen Festländern entfernt sei, und dass keine Eisfelder dieselben umgeben, so würden die oben beschriebenen Verhältnisse nicht vom neuen sich einstellen, wenn zugleich diese Kontinente vollkommen degradiert wären, weil dann keine Teile derselben über die Schneegrenze sich erheben und die Vereisung einleiten würden. Wie im nördlichen Eismeere würde auch im südlichen die jetzt zum Schmelzen der Eisberge verbrauchte Wärme die Temperatur auf einer viel höheren Stufe halten können und Eisbildung im See verhindern. Zu dieser Klimaverbesserung auf der südlichen Halbkugel würde bei der jetzigen Verteilung von Land und Meer die Erwärmung der Meere der nördlichen Halbkugel beitragen, weil ein Teil des Unterwassers auf der Südseite des Äquators von der Nordseite kommt (S. 28).

Es scheint auf Grund der oben gegebenen Darstellung unzweifelhaft zu sein, dass das Ausbreiten bezw. das Verschwinden von vereisten Gebieten nicht nur für die Gegenden, wo es geschieht, sondern für die ganze Erde klimatisch ungünstig bezw. günstig ist. Schon darum würde die Degradation aller erhöhten Teile der Erde unter die Schneegrenze

eine allgemeine Klimaverbesserung mit sich bringen. Aber noch auf andere Weise würde die Einebnung des Relieffes die Temperaturverhältnisse vorteilhaft beeinflussen, nämlich dadurch, dass die Erde die ihr zugestrahlte Wärme weniger schnell als jetzt durch Ausstrahlung und atmosphärische Konvektion verlieren würde.

Je mehr nämlich die Wärmeabgabe von der Erdoberfläche verzögert wird, um so mehr muss die Temperatur an derselben erhöht werden, ehe die Wärmeabgabe der Wärmeaufnahme gleichkommt. Bei dieser Wärmeaufspeicherung spielt, ausser meteorologischen Umständen, die Atmosphäre die Hauptrolle, weil sie die die Erde erreichenden leuchtenden Strahlen verhältnissmässig wenig geschwächt durchgehen lässt, aber für die von der Erde ausgesandten dunklen Strahlen wenig diatherman ist. Man hat ihre Wirkungen in dieser Hinsicht mit denen des Glases eines Treibhauses verglichen.

Am günstigsten müssen diese Wirkungen der Atmosphäre ausfallen, wenn dieselbe über die ganze Erdoberfläche sich mit ihrer vollen Mächtigkeit ausbreitet. Diesem Zustande näherten sich die Verhältnisse während der späteren Teile der anorogenetischen Phasen der grossen Zyklen, als das Gleichgewicht in der Erdkruste wieder hergestellt und die in der vorhergehenden orogenetischen Perioden entstandenen Berge und Hochländer vollständig denivelliert worden waren. Darum waren eben diese Zeiten pliotherm. Denn unter solchen Umständen wird die jährliche Ausstrahlung von der Erde der Einstrahlung gleich erst bei einem thermischen Zustand mit möglichst hoher mittlerer Jahrestemperatur und vorteilhaftester Ausbeutung der von der Sonne gespendeten Wärme.

Dieser so zu sagen idealische thermische Zustand wird aber gestört, wenn das Relief der Erdoberfläche in hohem Grade zerrissen ist. Die aufragenden Gebirge und andere hohen Gegenden werden von einer Lufthülle bedeckt, die nicht bloss dünner, sondern auch verdünnter als die Atmosphäre der Tiefländer ist. Solche Gebiete haben allerdings den Vorteil einer weniger abgeschwächten Einstrahlung, aber die Ausstrahlung hat in einem noch stärkeren Grade

zugenommen. Zwar scheint der dadurch verursachte Temperaturfall mit der Höhe durchschnittlich kaum grösser oder kleiner als der in der freien Atmosphäre zu sein <sup>1)</sup>, und darum könnte man denken, dass die niedrigeren Temperaturen der höher liegenden Gegenden auf das Klima der tiefer liegenden keinen grösseren Einfluss haben als die der höheren Schichten der freien Atmosphäre. Jede hochliegende Gegend hätte sein Klima für sich und veränderte das Klima der Tiefgegenden nicht mehr, als die Kälte, welche der Ballonfahrer in höheren Luftschichten fühlt. Es wäre in der Tat so, wenn jedes Gebiet in klimatischer Hinsicht von allen anderen abgesperrt wäre, und seine Wärmebilanz nur von der Ein- und Ausstrahlung reguliert würde. Da aber die Temperaturunterschiede auf der Erde in hohem Grade durch Konvektionen ausgeglichen werden, bekommen die Hochgegenden einen ungünstigen Einfluss auf die Wärmeaufspeicherung der Tiefgegenden sowohl durch die eben besprochenen Gelegenheiten zu Vereisungen, die sie darbieten, als in Folge der Einwirkung, welche die Berge und Erhebungen der Festländer auf die Luftströmungen ausüben. Die aufragenden Partien der Erdoberfläche können darum im Anschluss zum oben angewandten Bilde des Treibhauses mit Löchern im Glase verglichen werden. Diese lassen nicht nur aus den gerade unter ihnen befindlichen Stellen Wärme abgehen, sondern tragen zur Abkühlung des ganzen Hauses bei. Auf dieselbe Weise werden die grösseren Wärmeverluste der höher liegenden Gegenden auf der ganzen Erde fühlbar, und je grösser die Höhen und die Anzahl solcher Ausstrahlungsstellen sind, und je schroffer die Unterschiede zwischen hoch und niedrig, um so kälter wird der äussere

---

<sup>1)</sup> Unter neueren Untersuchungen über diese Frage wird auf folgende hingewiesen:

A. Schmauss, Gleichzeitige Temperaturen auf der Zugspitze und in der gleichen Seehöhe der freien Atmosphäre über München. Meteorol. Zeitschr. 1909. S. 24.

E. Gold und H. Harwood, Über den gegenwärtigen Stand unserer Kenntnisse der Temperaturverhältnisse der freien Atmosphäre. Ebenda 1910. S. 25.

J. Hann, Ist die Luft auf den Bergen kälter als die Atmosphäre in gleicher Höhe? Ebenda 1910. S. 30.

thermische Zustand der Erde. Darum sind diejenigen Perioden, während welcher die Erdoberfläche am meisten deformiert gewesen ist, miotherm gewesen.

Die angedeutete Einwirkung des Relieffes trifft sowohl die vertikalen Bewegungen der Atmosphäre als die Winde, welche längs der Erdoberfläche streichen. Die ersteren, d. h. die vertikalen Verschiebungen der Luftmassen in Folge der täglichen Erwärmung, vollziehen sich in der freien Atmosphäre über Ebenen nach bekannten physikalischen und meteorologischen Gesetzen. Sie besorgen einen Wärmetransport von tieferen Schichten nach höheren, wo die Ausstrahlung schneller vorsichgeht, und befördern dadurch die Wärmeabgabe von der Erde. Wo das Relief uneben und gebirgig ist, werden diese Luftbewegungen viel lebhafter. Die von den insolierten Abhängen der Berge erwärmten Luftmassen steigen längs denselben auf, und da sie wärmer sind und gewöhnlich mehr Wasserdampf enthalten als die gleich hohen Schichten der freien Atmosphäre, fließen sie noch höher hinauf als die erwärmte Luft über die Ebenen der Tiefgegenden. In der Nacht sinkt wieder kalte Luft herunter, welche Bewegung wieder über den freien Ebenen ausbleibt (bei ruhigem Wetter). Ferner entstehen die kräftigen hinauf- und herabwehenden Berg- und Talwinde. Dadurch werden in den Berggegenden beträchtlichen Mengen warmer Luft von den tiefer liegenden Gegenden in die Höhe geführt und wieder kältere Luft zurückgebracht. Je höher die Luft hinaufsteigt, um so schneller verliert sie ihre Wärme. Die dynamische Erwärmung der abwärtsgehenden Luftmassen ist dagegen nur der dynamischen Abkühlung der aufgestiegenen äquivalent.

Wie bei der vertikalen Zirkulation gehen auch bei den Verschiebungen der Atmosphäre längs der Erdoberfläche beträchtliche Wärmemengen verloren, wenn die Luftmassen von den Unebenheiten des Relieffes zum Steigen gezwungen werden. Die Winde, welche über die Bergrücken streichen, verursachen Anstauung und Auftrieb auf den Luv- und Lee-seiten derselben und beschleunigen dadurch die vertikale Zirkulation und Konvektion. Die Luftmassen, welche längs der Erdoberfläche streichen, werden von Bergkämmen, Steil-

küsten und anderen Unebenheiten in die Höhe gehoben (wie z. B. die dabei oft stattfindende Wolkenbildung zeigt). In diesen hohen Lagen strahlen sie ihre Wärme schneller aus, als wenn sie sich in niedrigeren Niveauen bewegt hätten, und enthalten darum, auf der anderen Seite der Bodenerhebung wieder herabgeflossen, eine geringere Wärmemenge als vor dem Aufstieg. Denn die dynamische Erwärmung, welche bei Fallwinden (Föhn) sehr gross sein kann, giebt, da die Atmosphäre ein geschlossenes System bildet, nicht mehr Wärme als beim Steigen der Luftmassen und ihres Wasserdampfes in Arbeit (Ausdehnung) umgesetzt wurde.

Während somit viel Wärme mit den Luftströmen von den Tiefgegenden in die Höhe geführt und dort schneller abgegeben wird, als wenn sie in der Tiefe des Luftmeeres hätte verbleiben dürfen, kommt die vermehrte Einstrahlung in den Hochgegenden diesen Tiefen nicht zu gute. Denn die insolierte Wärme wird zum Teil wieder schnell ausgestrahlt, zum Teil den vorbeiziehenden Luftströmen abgegeben. Dadurch tragen die Berge zur Erhöhung der Temperatur der höheren Luftschichten bei, deren Wärme aber den tiefer liegenden Schichten nur in geringem Maasse zu Nutzen kommt.

Die beträchtlichen Mengen von Wasserdampf, welche die Atmosphäre enthalten kann, vermehren in sehr hohem Grade ihre Wärmekapazität. Dadurch können noch grössere Wärmemengen von einem Orte nach einem anderen transportiert werden und durch die erwähnten abkühlenden Wirkungen des Reliebes verloren gehen.

Zur Verdunstung des Wassers wird etwa 536 cal. pro g verwendet oder etwa soviel Wärme, wie die Temperatur eines 1500000-fachen Volums von trockener Luft um 1° erhöhen würde. Bei der Kondensation (Wolkenbildung) wird ebenso viel Wärme frei, welche in manchen Fällen zur Wiederverflüchtigung der Wolken verbraucht werden kann oder in anderen Fällen die Abkühlung der in den Bergländern aufsteigenden Luftmassen verzögert, so dass sie später als herabströmende Föhnwinde wärmer sein können als vor ihrem Aufstieg, obgleich ihr Wärmegehalt geringer ist. Aber zum grossen Teil wird die bei der Wolkenbildung



entfesselte Wärme in den Weltraum ausgestrahlt, (oder tritt Wärmeentbindung durch Kondensation als Ersatz für die Strahlungsverluste ein). Die mit der atmosphärischen Zirkulation des Wassers verbundenen Vorgänge, Verdunstung von Meer und Land sowie Kondensation in der Höhe beschleunigen darum die Wärmeabfuhr, wozu noch kommt, dass die Niederschläge fast stets kälter sind als die Luft, in welche sie hineinfallen, und dieser daher Wärme rauben. Je häufiger nun dieselben Wassermengen den Kreislauf des Verdunstens und des Niederschlages durchmachen, d. h. je häufiger der befeuchtete Boden Gelegenheit zu Wasserdampfbildung darbietet und die Atmosphäre vom neuen Wasser aufnimmt, desto mehr Wärme wird gebunden und weggeführt, und gerade die Unebenheiten des Reliefs rufen Kondensationen vor, wo sie bei eingeebneten Topographie ausgeblieben wären.

In den beiden Passatgürteln und den Hochdruckzonen auf ihren Polarseiten (die ariden Zonen) z. B., wo die Luft eine geringe relative Feuchtigkeit hat und bei ihrer Verschiebung zu niedrigeren Breiten sich erwärmt und immer mehr Wasserdampf aufnehmen kann, würde sie, wenn das Relief eben wäre, ihr Wasser erst im tropischen Regengürtel abgeben. Aber jetzt bewirken Steilküsten und Gebirgsgegenden, die sich in der Bahn der Winde erheben, dass die Feuchtigkeit derselben schon früher und mehrmals auf dem Weg nach dem äquatorialen Kalmengürtel kondensiert wird, und je häufiger die Unebenheiten des Bodens Niederschläge verursacht, um so mehr Wärme nimmt die Verdampfung wieder in Anspruch. Denn in den ariden Zonen erreichen nur geringe Mengen des Regenwasser das Meer. Der allergrösste Teil wird wieder von der Luft aufgenommen und weiter verfrachtet. — Aus den oben gesagten leuchtet es ein, dass ein gebrochenes Relief den Ländern in den besprochenen Breiten vorteilhaft ist, indem es ihnen Niederschlag und Wasser verschafft. Ohne Gebirge würden die ariden Zonen ausschliesslich Wüsten aufweisen. In den Perioden, welche nach den orogenetischen Phasen folgten, haben darum bei der fortschreitenden Degradation der Erhebungen die Wüstengebiete sich wahrscheinlich vergrössert, bis die gros-

sen Meerestransgressionen eingriffen und die Verhältnisse änderten.

In den Breiten der vorherrschenden Westwinde kondensieren die Küstenberge auf der Ostseite der Meere gegenwärtig grosse Mengen von der Feuchtigkeit der warmen Winde und lassen dadurch viel Wärme abgehen. Wären diese absperrenden Wände vollständig abgetragen, würden die von den warmen Meeresströmungen begünstigten Kontinente in einer noch vorteilhafteren Lage sein. — In den Gebieten der Monsune kondensieren die Küstenberge ebenfalls die Feuchtigkeit der warmen Seewinde und kühlen dieselben ab.

Überhaupt zeigen uns die Regenkarten, dass alle Gebirge grössere Mengen von Niederschlägen erhalten als niedrigere Gegenden unter sonst gleichen Umständen, besonders auf ihren Windseiten. Ebenso ist unter sonst vergleichbaren Umständen die Regenhäufigkeit grösser in den Hochgegenden als in den umgebenden Flachländern. Die Einwirkung des Reliebes tritt auch darin hervor, dass Bergrücken gewöhnlich Wetter- und Klimascheiden sind, d. h. dem Ausgleich der klimatischen Verhältnisse hinderlich sind.

Es leuchtet ein, dass die von den Reliefverhältnissen vermehrten Niederschläge, wo sie in fester Form fallen, das Entstehen von Vereisungen befördern. Zugleich wird die Regenhäufigkeit, d. h. die häufig eintreffenden Kondensationen und Ausfällungen der Luftfeuchtigkeit, zu zeitweiligen Verminderungen dieser letzteren beitragen, wodurch der wärmebewahrende Effekt der Atmosphäre herabgesetzt wird. Grössere Niederschlagsmengen können auf diese Weise mit einer durchschnittlich geringeren relativen Feuchtigkeit verbunden sein. An einen grösseren Dampfgehalt der Luft während der Eiszeiten, wie einige Forscher sich die Verhältnisse vorstellen, ist nicht zu denken.

Eine Zusammenfassung der ausgeführten Betrachtungen zeigt, dass ein unebenes und gebirgiges Relief der Festländer folgende temperaturerniedrigende Umstände mit sich bringt, die auf einer eingeebneten Erde nicht auftreten würden:

1. Lebhaftere vertikale Zirkulation in der Atmosphäre und gezwungenes Steigen der Luftmassen, wodurch die Wärmeabfuhr durch Konvektion verstärkt wird.

2. Vermehrte Häufigkeit und Menge der Niederschläge, wodurch mehr Verdampfungswärme gebunden wird, um bei der Kondensation des Wassers in der Höhe zum grossen Teil abzugehen.

3. Bildung von beständigem Schnee in allen Gebieten, die sich über die klimatische Schneegrenze erheben, und der ungünstige Einfluss der Vereisungen auf die umgebenden und noch ferneren Gegenden.

Von diesen Ursachen sind nach einer Schätzung des Verfassers die unter 1. und 2. angeführten, besonders die letztere, mehr bedeutend als die mit 3. bezeichnete. Alle zusammen beeinflussen den gesammten Wärmekonvektionsverlauf der Meere und der Atmosphäre und machen sich darum im äusseren thermischen Zustand der ganzen Erde fühlbar.

Mit der vollständigen Degradation der Kontinente, so wie wir sie uns für die anorogenetischen Phasen der grossen Zyklen vorgestellt haben, würden die oben erwähnten abkühlenden Wirkungen des Relieffes entfernt werden, und die Klimate müssten in Folge dessen wärmer werden. Da bei einer solchen Temperaturerhöhung die Atmosphäre durchschnittlich mehr Wasserdampf enthalten wird als bei den gegenwärtigen Verhältnissen, würde sein Vermögen die Erdstrahlung zu absorbieren bedeutend anwachsen, und der Effekt davon würde sogar vielleicht mehr wirken als die Beseitigung der oben aufgezählten Ursachen der Abkühlung. Wie Arrhenius <sup>1)</sup> dem Kohlendioxyde die aktive einleitende Rolle bei der Vermehrung des Wassergehaltes der Atmosphäre zuerteilt, schreibt der Verfasser der allgemeinen Denivellierung denselben Effekt zu. — Trotz dieser grösseren Feuchtigkeit der Atmosphäre würde die Regenhäufigkeit, wie oben auseinander gesetzt, geringer sein, weil bei den

---

<sup>1)</sup> S. Arrhenius, On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperatur of the Ground. Philos. Magaz. S. 5. 41. N:o 251. April 1896.

Ders., Lehrbuch der kosmischen Physik. Leipzig 1903. S. 512. u. S. 614.

ebenen Reliefverhältnissen und beim glatteren und regelmässigeren Verlauf der Luftzirkulation die Veranlassungen zu Kondensation nicht so zahlreich wären wie jetzt.

Bei der angenommenermassen eintretenden Temperatursteigerung würde das Aufhören der unter 1. und 2. oben angeführten Einflüsse des unebenen Reliefs wohl annähernd gleich grosse Erwärmung in allen Breiten zustande bringen. Das Verschwinden der Vereisungen aber würde den hohen Breiten günstiger sein als den niedrigen, während dagegen die von der vermehrten Luftfeuchtigkeit beförderte Wärmeaufspeicherung in den äquatorialen Gegenden grösser sein würde als in den polaren. Es ist darum schwierig zu beurteilen, ob der Temperaturgradient zwischen den hohen und niedrigen Breiten zu- oder abnehmen würde. Wenn das erstere der Fall wäre, würde eine kräftigere Zirkulation sowohl in der Atmosphäre wie im Meere entstehen, und der Wärmetransport von wärmeren nach kälteren Gegenden schneller werden. Doch sprechen unsere zwar sehr mangelhaften Kenntnisse von den Klimaten der wärmeren geologischen Perioden dafür, dass die Temperaturunterschiede zwischen den Breiten damals mehr ausgeglichen als jetzt waren. Unter solchen Umständen war wohl die atmosphärische Zirkulation (und die Zirkulation des Meereswassers) etwas verlangsamt, aber die Wasser- und Luftmassen verfrachteten dabei viel ansehnlichere Wärmemengen als jetzt. — Wie Dickson<sup>1)</sup> hervorgehoben hat, würde bei einer solchen Verminderung des Temperaturgradienten und der Zirkulationsgeschwindigkeit die beiden Hochdruckgürtel polwärts verschoben werden. Es scheint auch, als ob die Wüstenzonen während der wärmeren geologischen Zeiten nach höheren Breiten ausgedehnt gewesen wären als während der weniger warmen; — wenn man bei allen oben ausgeführten Betrachtungen annehmen darf, dass keine bedeutenden Polverlegungen seit diesen fernliegenden Zeiten stattgefunden haben.

Alle die angeführten Umstände zusammen scheinen pliotherme Zustände hervorgebracht zu haben. Einen quantitativ überzeugenden Beweis dafür zu leisten bietet aber

<sup>1)</sup> *H. N. Dickson*, The Mean Temperature of the Atmosphere and the Causes of Glacial Periods. Geogr. Journ. London. 18. 1901. S. 516.

grosse Schwierigkeiten, sowohl weil die Vorgänge, deren Änderungen die Klimaschwankungen nach den Vorstellungen des Verfassers verursachen, sehr kompliziert sind, als auch weil es quantitative Bestimmungen der Verhältnisse, welche den Grund einer Berechnung bilden könnten, zu wenige giebt. Darum muss auf eine solche Behandlung des Problems verzichtet werden.

Was nun die Entstehung der eigentlichen Eiszeiten betrifft, wollen wir uns erinnern, dass sie nur besondere Phasen der miothermen Perioden sind (S. 15), und wenn die Vereisungen sowie die interglazialen Erscheinungen so zu erklären sind, wie Harmer<sup>1)</sup>, und nach ihm Geinitz<sup>2)</sup> Gregory<sup>3)</sup> und andere sich vorstellen, wäre eine weitere Erörterung an dieser Stelle überflüssig. Wahrscheinlich sind wohl doch die grossen quartären Vereisungen nicht als blosse Verchiebungen der immer ungefähr gleich gross verbleibenden Vereisungsgebiete in Folge von Verlegungen der habituellen Luftdruckminima zu deuten, sondern als allgemeine in allen verschiedenen Gebieten während einer gewissen Epoche auftretende Vergrösserungen der Inlandseise und Gletscher, d. h. als eine bedeutende Verschärfung des miothermen Zustandes der Erde im ganzen zu bezeichnen. Darum müssen die eigentlichen eiszeitlichen Klimate ähnliche Ursachen wie die miothermen überhaupt haben, und wenn diese in der oben angeführten Beschaffenheit des Reliebes gesucht werden, sind jene selbstverständlich von einer noch grösseren Erhebung der Hochgegenden als sonst bedingt worden. In der Tat waren die Seehöhen der Festländer und Gebirge am Anfang der Quartärzeit grösser als vorher und gegenwärtig, wie auf S. 13 auseinandergesetzt wurde.

Die gegebene Erklärung greift somit auf den alten Gedanken der Elevationshypothese zurück. Doch braucht man gar nicht, wie seinerzeits Charpentier betreffend der Alpen und später manche andere Forscher, anzunehmen, dass die einst vereisten Gebiete ebenso viel höher über der Mee-

---

<sup>1)</sup> *F. W. Harmer*, Influence of Wind upon Climate during the Pleistocen Epoch. Quart. Journ. Geol. Soc. London. 57. 1901. S. 405.

<sup>2)</sup> *E. Geinitz*, Wesen und Ursachen der Eiszeit. Güstrow 1905. S. 8.

<sup>3)</sup> *J. W. Gregory*, l. c.

resfläche lagen, wie die eiszeitlichen Schneegrenzen sich unter den gegenwärtigen befanden, und noch weniger, dass alle einst mehr vereisten Gebiete damals höher lagen. Denn in erster Linie beförderten die durch die Erhebung des Relieffes bewirkte Abkühlung der Luft und Vermehrung der Niederschlagshäufigkeit die Entstehung beständigen Schnees, und ferner ist hier auf eine Summation der Wirkungen zu denken. Eine geringere Erniedrigung der Temperatur kann zu einer bedeutenden Vermehrung der Inlandseise und Gletscher führen, und die Vereisungen selbst verschlechtern die Klimate der ganzen Erde. Dazu kommt noch, dass mit dem Zuwachsen der Landeismassen die Oberfläche des Meeres gesunken sein muss und dass somit sich noch mehr die Kontinente über dieselben erhoben haben <sup>1)</sup>).

Die allgemeinen negativen Niveauverschiebungen in der frühquartären Zeit haben ferner dem freien Zugang der warmen Meeresströmungen nach höheren Breiten erschweren können, z. B. des Golfstromes. Auf die nachteiligen Folgen dieses Verhältnisses hat schon Lyell hingewiesen und in neuerer Zeit Gunnar Andersson.<sup>2)</sup>

Was besonders die permo-karbonischen Vereisungen betrifft, kann ihr Auftreten in manchen polfernen Gegenden (wie wir uns auch die Lage der Erdachse zu diesen Zeiten vorstellen) und ihre Ausdehnung bis ans Meeresniveau damit im Zusammenhang stehen, dass die ihnen vorangehenden herzynischen Gebirgsbildungen weit breitere Zonen umfassten als z. B. die alpinen Faltungen, und dass in Übereinstimmung damit vorausgesetzt werden darf, dass die Verschiebungen und Zerbrechungen in der Erdkruste und die Deformation der Erdoberfläche damals viel grösser waren als bei den tertiären und quartären orogenetischen Ereignissen. Ein für die vorliegende, wie für alle Klima- und Eiszeithypothesen schwer zu erklärender Umstand ist das Nichtvorkommen von dieszeitlichen glazialen Bildungen sowohl in den zum Gondwanaland antipodischen Teilen der Erde als auch in den arktischen und antarktischen Gebieten.

<sup>1)</sup> *F. Nansen*, Bathymetrical Features, l. c. S. 211.

<sup>2)</sup> *Gunnar Andersson*, Die Entwicklungsgeschichte der skandinavischen Flora. Résultats scientifiques du Congrès international de Botanique. Wien 1905.

Nach der in diesem Aufsätze entwickelten Auffassung rühren die Interglazialzeiten von mehr oder weniger langandauernden vorübergehenden Verbesserungen der miothermen Verhältnisse her. In erster Linie sind diese Klimaschwankungen auf Umgestaltungen des Relieffes und Niveauverschiebungen zurückzuführen. Noch lange nachdem der Erdoberfläche in Folge der Gebirgsbildungen, welche die grossen Zyklen abschliessen, ihre grösste Deformation aufgezwungen wurde, haben sich die Bewegungen der Erdkruste fortgesetzt, wie die seismischen und epirogenetischen Vorgänge der Quartärzeit und der Gegenwart uns belehren. Einige Krustenverschiebungen streben, unterstützt von der Degradation, nach einem Ausgleich der Höhenunterschiede des Relieffes, andere dagegen, wie fortwährendes Steigen von Gebirgen und Kontinente oder Einsinken von anderen Partien der Erdkruste, wirken in entgegengesetzter Richtung. Je nachdem die eine oder andere Art der Niveauverschiebungen überwiegt, waren wohl die Erhebungen und Unebenheiten des Relieffes in einigen Epochen, die den Eiszeiten entsprechen, grösser, in anderen, den Interglazialzeiten, geringer als gegenwärtig, oder den gegenwärtigen Verhältnissen ähnlich. Die Vereisungen selbst trugen zu diesem Wechsel der Höhen bei. Denn unter ihrer Belastung senkten sich die Kontinente, befreit von ihr erhoben sie sich wieder langsam. Die zahlreichen ober- und unterseischen quartären Uferlinien und -bildungen sind Zeugen von solchen Niveauoszillationen, die wohl nicht nur in den Küstengegenden, wo sie am meisten die Aufmerksamkeit auf sich lenken, sondern auch im Inneren der Festländer und in Meeresgebieten (Korallenriffe) stattgefunden haben. Im allgemeinen scheinen diese Schwankungen hin und her um eine nachgestrebte Gleichgewichtslage mit der Zeit immer kleiner geworden zu sein, was sich in einer Decreszenz in der Ausdehnung der einander nachfolgenden neuen Vereisungen zeigt.

Es treten selbstverständlich mehrere andere Umstände hinzu, die auf die Klimaverhältnisse einwirken und grössere oder kleinere Schwankungen der mio- und pliothermen Zustände veranlassen und von verschiedenen Forschern als die wesentlichen Ursachen der grossen Klimaschwankungen

angesehen worden sind, nämlich die Veränderungen der Exzentrizität der Erdbahn, deren Wirkungen auf die Wärmeverteilung, wie Spitaler<sup>1)</sup> es gezeigt hat, gleichzeitig, nicht alternierend die nördliche und südliche Halbkugeln treffen, ferner die ab- und zunehmende Neigung der Erdachse gegen die Erdbahn, die Schwankungen der Leuchtkraft der Sonne sowie der verschiedene Kohlendioxydgehalt der Atmosphäre u. s. w. Aber die Hauptursache des Wechsels von miothermen und pliothermen Zeiten sowie des Parallelismus zwischen Orogenesis und Klima liegen in den Niveauverschiebungen und Umgestaltungen des Reliebes.

Es ist wohl höchst wahrscheinlich, dass die Leuchtkraft der jetzt gelben Sonne früher grösser gewesen ist, aber allmählich während der geologischen Perioden abgenommen hat. Die ältesten pliothermen Zeiträume waren darum die wärmsten, und einem je jüngeren Zyklus eine pliotherme Periode angehört hat, desto weniger warm sind ihre Klimate gewesen. Mit der abnehmenden Erwärmung der Erde von der Sonne haben ferner miotherme Zustände sich immer leichter einstellen können. Wenn schliesslich es so weit gekommen sein wird, dass die Schneegrenzen, zuerst in der Nähe der Polen, auch bei vollständiger Einebnung der Erdoberfläche das Meeresniveau erreichen, ist der miotherme Zustand beständig geworden, und die Erde wird allmählich immer mehr vereisen.

Helsingfors den 9 April 1910.

---

<sup>1)</sup> R. Spitaler, Die jährlichen und periodischen Änderungen der Wärmeverteilung auf der Erdoberfläche und die Eiszeiten. Beitr. zu Geophysik. 8. 1907. S. 565.

