

gegenüberstellen, gelangen wir zu der von Schottky, Ulich und Wagner<sup>24</sup> aufgestellten allgemeinsten Stabilitätsbedingung für eine beliebige charakteristische Funktion  $\varphi$  mit den zugehörigen Extensitätsparametern  $\eta_1, \eta_2 \dots \eta_k$  und den Intensitätsparametern  $y_1, y_2 \dots y_{n+2-k}$ :

$$\begin{aligned} & [\Delta^2 \varphi (\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \dots \cdot \eta_{k-1})]_{y_1, y_2 \dots y_k} \\ & - [\Delta^2 \varphi (y_1, y_2 \dots)]_{\eta_1, \eta_2 \dots \eta_k} > 0. \end{aligned} \quad (55)$$

Führen wir endlich die mittlere molare, d. h. die auf 1 Mol Mischung bezogene charakteristische Funktion  $\Phi$  ein und bezeichnen die „spezifischen“ Extensitätsparameter (z. B. mittleres Molvolumen, Molenbrüche) mit  $\bar{\eta}_i$ , so erhalten wir aus (40), (43), (44), (47), (48), (53) und (54) die mit

(55) gleichwertige Stabilitätsbedingung:

$$\begin{aligned} & [\Delta^2 \Phi (\bar{\eta}_1 \cdot \bar{\eta}_2 \cdot \dots \cdot \bar{\eta}_{k-1})]_{y_1, y_2 \dots} \\ & - [\Delta^2 \Phi (y_1, y_2 \dots)]_{\bar{\eta}_1, \bar{\eta}_2 \dots \bar{\eta}_{k-1}} > 0. \end{aligned} \quad (56)$$

Ungleichung (56), die für die Anwendung wichtiger als (55) ist, haben wir hiermit streng abgeleitet. Alle bislang bei speziellen thermodynamischen Diskussionen benutzten Stabilitätsbedingungen, z. B. (49) und (53), sind Spezialfälle von (56). Eine exakte Ableitung dieser Bedingungen ist in der Literatur nicht zu finden.

Hrn. Prof. W. Jost danke ich für das Interesse an der Arbeit und dafür, daß er die Durchführung dieser Untersuchungen in seinem Institut ermöglicht hat.

## Ein Beitrag zum Eiszeitproblem II

VON KURT HIMPEL

Aus dem Institut für angewandte Physik der Universität Frankfurt a. M.

(Z. Naturforsch. 5a, 124—126 [1950]; eingegangen am 20. September 1948)

An Hand neuerer paläoklimatologischer Forschungsergebnisse wird nachgewiesen, daß sowohl die Polwanderungstheorie als auch die astronomische Theorie von Milankovitch in bezug auf die Verhältnisse während des Känozoikums und namentlich während des Alluviums versagen. Es wird weiterhin ausgeführt, daß die Nebelveränderlichkeit nicht etwa durch rein optische Bedeckungseffekte, sondern durch die Bildung einer dichten, den Stern umgebenden Hülle, welche den Energietransport in der Sternatmosphäre stört, hervorgerufen wird. Die kleineren Schwankungen innerhalb der Eiszeiten (Interstadialzeiten) und die kurzdauernden Schwankungen des Alluvialklimas können durch die faserige (Filament-) Struktur der Dunkelwolken erklärt werden.

In den letzten 1½ Jahren sind, in den verschiedensten Zeitschriften verstreut, eine Reihe grundlegender Arbeiten auf dem Gebiete der Paläoklimatologie erschienen, daß es lohnend erscheint, vor einem breiteren Forum auf sie hinzuweisen und ihre neue Tendenz herauszustellen.

M. Schwarzbach<sup>1</sup> kommt in seiner zusammenfassenden Untersuchung über die Klimazeugen des Alttertiär<sup>2</sup> zu dem bemerkenswerten Ergebnis, daß die damalige Lage von Polen und Kontinenten der heutigen ähnlich gewesen sein dürfte. Bisher herrschte in Geologenkreisen immer noch die von Max Semper in seinen klassisch gewordenen Arbeiten vertretene Ansicht vor, daß wir im Alttertiär mit einer größeren Polverschiebung zu rechnen hätten; aber das seit über einer Generation (1912) mächtig angewachsene Beobachtungsmaterial hat dem nicht recht gegeben. Schwarzbachs Hauptresultat ist die Annahme einer bedeutend wärmeren, eisfreien Erde im Alttertiär. Seine Ansicht, dieser Zustand könne mit

terrestrischen Faktoren allein nicht erklärt werden, verdient unsere besondere Beachtung.

Eine besonders wertvolle Studie hat Schwarzbach zwei neuen Büchern von F. E. Zeuner<sup>3</sup> gewidmet, von denen uns besonders das Buch über das Eiszeitklima angeht. Schwarzbach kommt zu dem Ergebnis, daß trotz des enormen Forschungsaufwandes die Milankovitchsche Theorie von der Geologie immer noch nicht als bewiesen angesehen werden kann.

Hieran läßt sich eine gleichfalls bedeutsame Studie von Firbas<sup>4</sup> über das Klima des Postglazial, zu dessen besten Kennern dieser Forscher zählt, anschließen. Nach ihm sind die Differenzen zwischen der Beobachtung und der Milankovitchschen Theorie doch viel größer als man bisher annahm, so daß günstigenfalls „noch eine halbe Eiszeit“ zu erklären übrig bleibt.

Auch Parets ausgezeichnetes Werk<sup>5</sup> wird der Alt klimatologe gerne studieren. Sein für uns besonders wichtiges Ergebnis ist, daß der relativ gleich-

<sup>1</sup> M. Schwarzbach, Naturwiss. 33, 355 [1947].

<sup>2</sup> Das Alttertiär (Paläozän und Eozän) ist so ziemlich die wärmste Zeit der ganzen Erdgeschichte und deswegen hier besonders wichtig.

<sup>3</sup> M. Schwarzbach, Geol. Rdsch. 1948, Heft 2/3.

<sup>4</sup> H. Firbas, Naturwiss. 34, 104 [1947].

<sup>5</sup> Paret, Das neue Bild der Vorgeschichte, Stuttgart 1946.

mäßige Verlauf des Alluvialklimas von einer Reihe mehrhundertjähriger Wärmewellen überlagert wurde.

An L. Meckings Resultat<sup>6</sup> ist der Paläoklimatologe insofern interessiert, als sich danach die Schlußfolgerung von A. Wagner (op. cit.), daß Erwärmungen mit Gletscherrückgang ganz vorzugsweise den Winter betreffen, erneut auffallend bestätigt; dies würde für Croll und gegen Köppen sprechen.

Von C. E. P. Brooks, dem Altmeister der Paläoklimatologie, stammen zwei Arbeiten, die wir ebenso wie die erwähnten von Semper zu den klassischen dieses Gebietes rechnen dürfen: „Unsolved problems of climatic change“<sup>7</sup>. Im ersten Teil bringt Brooks übersichtlich den gegenwärtigen Stand des Beobachtungsmaterials, im zweiten das Wichtigste an neuen Erklärungsversuchen. Besonders wichtig erscheint mir der wenig bekannte Tatsachenverhalt, daß auch das Äquatorialgebiet kräftige postglaziale Klimaschwankungen, teilweise „on a gigantic scale“ zeigt (S. 128—129). Mit Recht betont Brooks, daß solche Phänomene viel ungewogener auf Grund der Simpsonischen an Stelle der astronomischen Theorie verständlich seien (S. 149).

Vor kurzem referierte G. Viète<sup>8</sup> ausführlich über die von mir früher vorgetragene kosmische Eiszeithypothese<sup>9</sup>. Er schließt sich ihr zwar in den wesentlichen Punkten an, möchte aber doch einer Kombination der kosmischen mit der astronomischen Theorie den Vorzug geben; dieser Vorschlag erklärt sich aber dadurch, daß Viète in entscheidenden Punkten von der astronomischen Theorie weit mehr erwartet, als sie tatsächlich leisten kann.

Zu der astronomischen Theorie scheinen mir, insbesondere im Anschluß an Vietes Arbeit sowie an mündliche und schriftliche Diskussionen, einige Bemerkungen notwendig, denn Mißverständnisse werden hier z. Tl. dadurch verursacht, daß es sich um Dinge handelt, die *zu* trivial sind.

Viète<sup>8</sup> bezeichnet es als besonderes Positivum der astronomischen Theorie, daß sie Anfang und Ende der Eiszeit zu berechnen gestatte. Träfe allein dieser Punkt zu, so würde ich sofort ein fanatischer Verfechter dieser Theorie! In Wirklichkeit ist es aber so: Ein Blick auf eine *vollständige* Strahlungskurve<sup>10</sup> zeigt z. B., daß das tiefste Minimum noch ins Pliozän fällt. Der Versuch von Eberl<sup>11</sup>, es mit einigen fraglichen frühdiluvialen Schottern zu „parallelisieren“, ist doch recht bezweifelbar. Im Gegenteil<sup>12</sup>, gerade die

Strahlungskurve gibt *keinerlei* Mittel, den Anfang plausibel zu machen. Von einem „Ende“ der Eiszeit kann also schlechterdings nicht die Rede sein!

Wenn auch alle Beobachtungen immer mehr in Richtung einer universellen Gleichzeitigkeit der Würmvereisung weisen, so ist es doch gewiß noch ein weiter Weg, diese auf etwa  $\pm 1000$  Jahre zu verbürgen; aber Vietes Annahme, daß sie auf 5000 bis 11000 Jahre ungenau sein könnte (S. 130), wie es die Strahlungskurve benötige, ist viel zu hoch. Es ist einer begründbaren naturwissenschaftlichen Hypothese wohl auch nicht förderlich, ihre Existenz mit der Feststellung zu verteidigen, daß der Gegenbeweis noch nicht streng genug sei! Der beste Wert für das Zurückliegen des letzten Eishöchststandes kann mit  $-27000 \pm 3000$  Jahren angesetzt werden.

Faßt man die obigen Schriften sowie die darin aufgezeigten Schwierigkeiten zusammen, so wird immer klarer, daß die Zuhilfenahme solarer Schwankungen, insbesondere nach den verdienstvollen Arbeiten von Simpson, heute seitens der Mehrzahl der Forscher viel positiver beurteilt wird als vor 1—2 Jahrzehnten. Dies kommt daher, daß die Pol- und Kontinentalverschiebungstheorien so ziemlich erledigt sein dürften, während die Zweifel an der astronomischen Theorie nicht verstummen wollen. Man hat bei dem Problem des Vorweltklimas mehr und mehr das Gefühl gewonnen, zwischen Scylla und Charybdis wählen zu müssen insofern, als eine Hypothese, die sich zu sehr den Eiszeiten widmet, um so sicherer bei den warmen Klimaten versagt und umgekehrt. Dies trifft in vollem Umfang auch auf die bemerkenswerten Untersuchungen von Huntington und Visher<sup>12</sup> zu, die der Ansicht sind, höhere, den Sonnenflecken überlagerte Perioden brächten Eiszeiten hervor; aber die 11-jährige Sonnenfleckenperiode wie auch höhere Sonnenfleckenperioden sind durch die ganze Erdgeschichte nachgewiesen, und es bedürfte wiederum einer Zusatzhypothese, um die Eiszeiten als kurze, katastrophale Intermezzi der Erdgeschichte plausibel zu machen.

Die Dunkelwolkenhypothese wird von diesem Einwand nicht getroffen. Der Nachweis von zahl-

<sup>6</sup> L. Meckling, Naturwiss. **34**, 213 [1947].

<sup>7</sup> C. E. Brooks, Meteorol. Magaz. **76**, 126—147 [1947].

<sup>8</sup> G. Viète, Z. Meteorol. **2**, 129 [1948].

<sup>9</sup> I. Mittel: K. Himpel, Z. Naturforschg. **2a**, 419 [1947].

<sup>10</sup> z. B. Köppen-Geiger, Hdb. d. Klimatologie.

<sup>11</sup> R. Schwinner, Lehrb. d. physik. Geol. I, 1936.

<sup>12</sup> E. Huntington u. S. Visher, Climatic Changes, Yale Univ. Press, 1932.

reichen Veränderlichen Sternen innerhalb der Dunkelwolken hat uns mit einer Art „Verstärkerwirkung“ bekannt gemacht, ohne die die Dunkelwolkenpassage als nicht ausreichend abgelehnt werden mußte. Daher darf hier kurz auf einige Einwände eingegangen werden, wie sie in den Diskussionen immer wieder auftauchten, und die sich daraus erklären, daß über die interstellare Materie als jüngstem und am meisten im Flusse begriffenen Forschungsobjekt der Astrophysik noch viele Unklarheiten herrschen. Folgende Haupteinwände wurden mir u. a. entgegengehalten:

1. Die Veränderlichkeit der sog. Orionveränderlichen sei nur optischer und nicht physikalischer Natur, indem vorbeiziehende Nebelmassen Bedeckungen hervorriefen. Dies kann aber nur teilweise zur Erklärung herangezogen werden, da wir gelegentlich schon innerhalb eines Tages Helligkeitsänderungen bis zu einer Größenklasse antreffen, und außerdem nicht nur Minima, sondern auch Aufleuchten; wenn solche Erscheinungen durch Vorbeiziehen wesentlicher Teile der Wolken erklärt werden sollten, müßten diese mit mehrfacher Lichtgeschwindigkeit sich bewegen. Das Vorbeiziehen dunkler Körper — etwa in Form gigantischer Kometen — würde die Massen der Dunkelwolken millionenfach größer machen, als sie wirklich sind. Das Auftreten variabler, heller Spektrallinien in den Spektren einiger Orionveränderlicher (insbesondere RU Lupi, T Tauri, UZ Tauri u. a.) zeigt vielmehr an, daß wir es mit einer „*circumstellaren*“ Wolke<sup>13</sup> zu tun haben, die sich der Stern in äußerst komplizierter Wechselwirkung von Gravitation und Strahlungsdruck innerhalb der Dunkelwolke zulegt. Bei den formal den Orionveränderlichen verwandten R Coronae-Sternen hat man dies schon länger vermutet. Was uns leider noch fehlt, ist eine Reihe von Spektrogrammen, die über ein geeignetes Stück der Lichtkurve eines Orionveränderlichen verteilt sind; am meisten in Frage käme hier T Orionis, dessen Lichtkurve seit fast hundert Jahren gut bekannt ist.

2. Die Dunkelwolken könnten vielleicht die Hauptvereisungen erklären, wie dies in einer bemerkenswerten Arbeit Hoyle und Lyttleton<sup>14</sup>

darzulegen versucht haben, nicht aber die zahlreichen kleineren Schwankungen. Als Beweis für die stellenweise außerordentlich feine Verästelung der Wolken diene die beigegebene Aufnahme Barnards (Abb. 1, s. Tafel, S. 96 a); mit der grob abgeschätzten Entfernung dieser Wolken kommt man bei einer Translationsgeschwindigkeit von 20 km/sec zu 1—2 Jahrtausenden für die Passage, so daß sich *auch* die *kleineren Eiszeitschwankungen* sehr wohl auf die *Hauptursache* zurückführen lassen.

3. Es handle sich bei der Ersetzung der astronomischen durch die Dunkelwolkenhypothese insofern um einen fragwürdigen Tausch, als Feineffekte, die berechenbar seien, durch solche ersetzt würden, die bestenfalls plausibel gemacht, aber nicht bewiesen werden könnten. Abgesehen davon, daß dieser Einwand nicht auf die Dunkelwolkenhypothese in der jetzigen Fassung zutrifft (S. 4), haben wir hier eine progressivwirkende Beeinflussung physiko-chemischer Art auf Erd- und Sonnenatmosphäre vor uns, während bei der astronomischen Theorie nur der kleine Primärwert bleibt. Und selbst dieser ist umstritten, da ja Gesamtstrahlungsänderungen ebenso wie solche der astronomischen Jahreszeiten *nicht* vorkommen.

Fassen wir zusammen: Die diluviale Eiszeit als universelles, katastrophales Intermezzo der Erdgeschichte, als eine kalte, von raschen und gewaltigen Schwankungen von Temperatur und Niederschlag begleitete Zeit kommt bei der Dunkelwolkenhypothese besser als bei den übrigen Eiszeittheorien heraus.

Ob der große Rhythmus der Eiszeiten in der Erdgeschichte von etwas über 200 Millionen Jahren mit der größten, uns bekannten kosmischen Periode, dem Umlauf der Sonne um das Milchstraßenzentrum, für den 210 Millionen Jahre gefunden wurden, zusammenhängt, ist ein von maßgebender geologischer Seite<sup>15, 16</sup> neuerdings verschiedentlich erwähntes Problem; es möchte scheinen, als ob mit der Dunkelwolkenhypothese auch hier eine Verbindung leichter als sonst anzubahnen wäre, doch sind hüben und drüben die Vorarbeiten noch zu sehr im Flusse, als daß jetzt schon ernsthaft an das Problem herangegangen werden könnte.

<sup>13</sup> Vgl. dazu P. Merrill, *Astrophysic. J.* **95**, 268 [1942].

<sup>14</sup> F. Hoyle u. R. Lyttleton, *Proc. Cambridge philos. Soc.* **35**, 405 [1939].

<sup>15</sup> W. Umbgrove, *The pulse of the earth*, Den Haag 1942, bes. S. 142.

<sup>16</sup> R. Schwinner, *Z. dtsh. geol. Ges.* **96**, 213 [1944].