

altérations locales en chlorite. La texture est ophitique ou doléritique avec des baguettes ou des poutrelles de plagioclases empalées dans les pyroxènes.

Il s'agit d'une dolérite grenue ou d'un gabbro doléritique.

2^o *Produit d'altération*: Dans les fissures entre les têtes de rochers doléritiques mises à nu persiste la zone de transition entre la roche saine et l'altération «pain d'épice» de Lacroix. Au delà de cette croûte, le matériau friable, entièrement formé de sesquioxides a disparu sous l'effet de l'érosion.

La croûte correspond à une ferrallitisation avec respect des structures et altération des silicates en goëthite et gibbsite (ou hydrargillite). Quelques résidus de chlorite semblent correspondre à des éléments non encore hydrolysés.

Dans la zone de transition, l'altération commence par un envahissement des pyroxènes par les oxydes de fer. Les craquelures sont garnies de goëthite et les clivages du pyroxène sont envahis par des infiltrations planes de goëthite à partir des craquelures.

De leur côté les feldspaths ont tendance à se craqueler. Ils sont à peu près intacts dans la base de la croûte puis remplacés par une poudre cryptocristalline indéchiffrable au microscope.

Références

- LE BOURDIEC, P., 1958: Aspects de la morphogénèse plio-quaternaire en Basse Côte d'Ivoire (A.O.F.). Rev. Géomorphologie Dyn., IX, p. 33—42.
- MICHEL, P., J. TRICART et J. VOGT, 1956: Les oscillations climatiques quaternaires en Afrique Occidentale. Communication au Congrès de l'INQUA, Madrid-Barcelone, sous presse.
- TRICART, J., 1957: Aspects et problèmes géomorphologiques du littoral occidental de la Côte d'Ivoire. Bull. I.F.A.N., Sér. A, XIX, p. 1—20.
- , 1958: Division morphoclimatique du Brésil atlantique central. Rev. de Géomorphologie Dyn., IX, p. 1—22.
- , 1959: Problèmes géomorphologiques du littoral oriental du Brésil. Cahiers océanographiques (Paris), XI, p. 276—308.

BERICHTE UND KLEINE MITTEILUNGEN

PROBLEM-KLIMATE DER ERDE

(nach G. T. TREWARTHA)

HERMANN FLOHN

Seinem vielbeachteten, klassische und neuere Vorstellungen geschickt kombinierenden Lehrbuch „Introduction to Climate“ (3. Aufl. 1954) hat GLENN T. TREWARTHA, Professor für Geographie an der Staats-Universität von Wisconsin (USA), nunmehr eine Darstellung klimatischer Probleme (1) folgen lassen. Dieses Werk ist ausdrücklich für die Fachwelt bestimmt; es setzt die Grundbegriffe der Meteorologie und die allgemeine Klimatologie — mit der normalen, von der Land—Meer-Verteilung beeinflussten Zirkulation der Atmosphäre und der aus ihr sich ergebenden Klimaklassifikation — als bekannt voraus. Dabei beabsichtigt er keine systematische und methodische Behandlung, sondern

a) die Beschreibung und möglichst auch Erklärung der Problem-Klimate, die von der üblichen schematischen Anordnung der Klimazonen abweichen und als „klimatische Anomalien“ aufgefaßt werden können,

b) eine Klimatologie der atmosphärischen Störungen, Wettertypen und Großwetterlagen, besonders in den Tropen, und

c) einen Versuch zur Behandlung der dynamischen Prozesse, die zu einer Differenzierung der Klimate führen.

Ein solches Buch kann die üblichen Mittelwerte und Häufigkeits-Statistiken nur als Ausgangsbasis verwenden; Statistiken der Wetterlagen und ihrer klimatischen Auswirkungen treten dazu. Die meteorologische Literatur (darunter auch in beachtlichem Umfange die deutschsprachige) wird mit viel Verständnis herangezogen; in den Tropen hat TREWARTHA verschiedene

regionale Wetterdienststellen besucht (Recife, Rio de Janeiro, Accra, Leopoldville, Nairobi, Pretoria) und ertragreiche Diskussionen mit den dort tätigen Meteorologen geführt. So ist es ihm gelungen, ein Werk zu schaffen, das geeignet ist, intensivere Forschungen anzuregen, und das schon wegen der Persönlichkeit seines Verfassers in den Kreisen der Geographen wie der Meteorologen größte Beachtung verdient.

Das Werk ist zur Gänze regional gegliedert; wegen der mehrfachen Zielsetzung ist wohl kaum ein größeres Klimagebiet ganz unberücksichtigt geblieben. Gleich der einleitende Abschnitt über Südamerika behandelt eine Fülle klimatischer Probleme: die aride Zone der Westküste, die in Ecuador und den Galapagos bis zum Äquator reicht, aber den nach S rasch seltener werden den Störungen (El Niño-Phänomen) unterworfen ist, die Winterregengebiete in Ostbrasilien, Honduras und in Teilen des karibischen Meers sowie die Trocken-zonen in Nordostbrasilien und an der Nordküste Südamerikas. Ähnliche Probleme studiert TREWARTHA in allen Teilen der Erde, stets unter Berücksichtigung der synoptisch-meteorologischen Ergebnisse. Die letzten Kapitel sind einer ausführlichen Erörterung des Jahresganges der Niederschlagsmenge in Nordamerika gewidmet. Der Referent — der sich mit einem Großteil dieser Probleme ebenfalls befaßt hat, aber die Ergebnisse meist nur in Vorlesungen mitteilen konnte — darf seiner Freude darüber Ausdruck geben, daß an keiner Stelle schwerwiegende Unterschiede gegenüber TREWARTHAS Befunden festzustellen waren.

Da die große Fülle des Inhalts sich einem Referat entzieht, da aber auch an manchen Stellen noch Ergänzungen notwendig wären, kann auf Einzelfragen hier nicht mehr eingegangen werden. Naturgemäß sind auch einige Probleme regionalen Charakters nicht behandelt worden. Hierzu zählen z. B. das — beim Fluge

Asmara-Port Sudan unmittelbar sichtbar werdende — Nebeneinander des semiariden Hochlandes von Erythräa mit Sommerregen und des Winterregen-Nebelwaldes an seinem Abhang zum Roten Meere (2) (3), sowie das recht weit verbreitete Phänomen der ariden Talfurden in tropisch-subtropischen Hochgebirgen (4) (5), aber auch der im Winter so scharfe Gegensatz in Bewölkung und Niederschlag zwischen Mittel- und Ostsibirien. Von mehr lokalem Charakter ist etwa der Gegensatz zwischen der intensiv überregneten Außenküste Norwegens und den auffällig trockenen Tälern im Inneren (Ottatal mit unter 300 mm Niederschlag), der in homologer Form auch im Westen Nordamerikas auftritt. Auf jeden Fall verdient für alle Fragen der regionalen Klimatologie dieses Buch ein gründliches Studium.

Mit Recht betont TREWARTHA, daß die „*Problem-Klimate*“ in manchen Fällen gar keine Ausnahmen darstellen, sondern bei einer vollständigen Kenntnis der klimabildenden Prozesse sich als gesetzmäßig herausstellen werden. In vielen Fällen lassen sie sich auf geographische Besonderheiten (Orographie, Küstenverlauf und Windrichtung usw.) zurückführen. Hier liegt ein Kernpunkt: viel zu lange sind diese „*klimabildenden Prozesse*“ — wie sie besonders in Sowjetrußland heute systematisch studiert werden — als bekannt vorausgesetzt worden, und die von HUMBOLDT 1842 geforderte *theoretische Klimatologie* wird erst heute wieder als Problem gesehen, das über der Sammlung von Verarbeitung des riesigen Beobachtungsmaterials der beschreibenden *Klimatologie* im Laufe der Zeit völlig in den Hintergrund getreten war. In diesem regional gegliederten Buch geht TREWARTHA auf diese allgemeinen Probleme nicht ein; es enthält den Versuch „*to make genesis an integral part of the climatic analysis*“.

Diese können nur zum Teil durch die Behandlung der Wetterlagen — so wertvoll diese Methode der synoptischen *Klimatologie* auch ist — erhalten werden: tatsächlich erweitert und ergänzt diese Verfahren nur die Beschreibung. Da die in der Meteorologie zwischen 1920 und 1945 vorherrschende Modellvorstellung der Luftmassen und Fronten zuerst durch unmittelbare aerologische Messungen, in den letzten Jahren aber auch durch numerische Modellrechnungen abgelöst wird, erscheint das aus der Literatur zu gewinnende Bild vielfach widerspruchsvoll — als Beispiel sei TREWARTHAS Darstellung von Ostafrika genannt — und uneinheitlich. Tatsächlich sind (besonders in den Tropen) wesentliche Eigenschaften der klimatisch so wichtigen vorherrschenden Vertikal-schichtung nicht als konservative Luftmassenmerkmale anzusehen, sondern nur als Folgen dynamischer Prozesse verständlich. Wichtiger als Luftmassen und Fronten sind daher die ihnen zugrunde liegenden Gesetzmäßigkeiten der atmosphärischen Dynamik. Der Referent möchte deshalb den Versuch machen, einige dieser Gesetzmäßigkeiten zu formulieren, um damit wenigstens andeutungsweise die wichtigsten „*Problem-Klimate*“ systematisch auf ihre Ursachen zurückzuführen. Dies geschieht hauptsächlich aus didaktischen Gründen und mag als Ergänzung von TREWARTHAS regionaler Darstellung vielleicht nützlich sein, um so mehr, als einzelne dieser Gesetzmäßigkeiten bis in die

jüngste Zeit hinein unberücksichtigt blieben. Hierbei soll — ebenso wie bei TREWARTHA, was viele Leser sicher als Vorzug seines Buches ansehen werden — auf eine mathematische Einkleidung verzichtet werden.

A) Äquatoriale Anomalien

Infolge des thermischen Gegensatzes zwischen Arktis und Antarktis (und mitbeeinflusst durch die stärkere sommerliche Erwärmung der Nordkontinente) liegt im Mittel für die Gesamterde der meteorologische Äquator auf der Nordhalbkugel. In den ozeanischen Bereichen, in denen bei geringer jahreszeitlicher Änderung seine Position das ganze Jahr über auf der Nordhalbkugel verbleibt, kommt es in der Zone südlich des Äquators, stellenweise bis etwa 2°N übergreifend, zu großräumigem Absinken innerhalb des den Äquator überschreitenden Südostpassates. Dieser Absinkeffekt beruht zum Teil auf der Wirkung der vertikalen Komponente der Coriolis-Beschleunigung auf die Ost-West-Komponente des Windes, zum Teil auch auf der Wirkung der Änderung der horizontalen Komponente der Coriolisbeschleunigung mit der Breite auf die Nord-Süd-Komponente (6). Die unter D, E und F genannten Effekte treten unterstützend hinzu.

Hierzu gehören die ausgedehnte trockene Äquatorialzone des Pazifiks nebst den anschließenden trockenen Küstengürteln von Peru und Ecuador, die Trockenzone des Südostpassats auf dem Atlantik nebst der angrenzenden Küstenzone Westafrikas sowie das Trockengebiet am Nordosthorn Brasiliens. In all diesen Gebieten kommt es von Zeit zu Zeit zu weiträumigen Zirkulationsanomalien, bei denen ausnahmsweise der meteorologische Äquator auf die Südhalbkugel übertritt, die dann zu anormalen Niederschlägen führen.

Charakteristisch ist das weiträumige gleichzeitige Auftreten dieser Anomalien, die in einzelnen Gebieten von katastrophaler Wirkung sein können.

B) Quasistationäre Höhenträge

Die annähernd ortsfesten Auslenkungen der Westdrift zum Äquator hin entstehen auf beiden Halbkugeln als Folge der orographischen Konfiguration der Erdoberfläche, zum Teil infolge der direkten Ablenkung der Höhenströmung durch die Gebirge, zum größeren Teil jedoch infolge der thermischen Wirkung der Hochländer bzw. der Unterschiede zwischen Land und Wasser. Auf der Nordhalbkugel existieren drei dieser Höhenträge: über dem östlichen Nordamerika, über Osteuropa (im Sommer nach Zentralasien verschoben) und über Ostasien. Auf der Südhalbkugel sind offenbar vier derartige Höhenträge zu erkennen, wenn auch die bisherigen Daten noch nicht genügend vollständig sind. Gesichert sind die Höhenträge östlich Südamerika und östlich Südafrika (bei Madagaskar); weniger gesichert, aber wahrscheinlich sind zwei weitere Höhenträge bei 110° Ost (vor der Westküste Australiens) und vor allem bei 175° Ost, im Raum Neuseeland.

In all diesen Gebieten treten am Boden subtropische Hochdruckzellen nur ausnahmsweise auf; die quasistationären Höhenträge entstehen also in Lagen zwischen den subtropischen Hochdruckzellen, in denen in der Höhe kalte Luft polaren Ursprungs weit äquatorwärts ausgreift. Hier kommt es infolgedessen häufig zu Niederschlägen bei feuchtblabiler Schichtung, deren Ursachen mit Hilfe nur der Bodenwetterkarte — ohne entsprechende Höhenkarten — nicht richtig erkannt werden können. Ebenso werden in diesen Lücken der subtropischen Trockenzone bevorzugt tropische Orkane polwärts umbiegend in die Westdrift einbezogen, wie überhaupt im Bereich der Höhenträge tropische Störungen verstärkt werden und polwärts ausgreifen. Im Bereich der quasistationären Höhenträge an den Ostflanken der Kontinente ist infolgedessen auch die Passatregion niederschlagsreicher und die Passatinversion liegt höher als im Bereich der subtropischen Hochdruckzellen.

C) Regionale Störungen durch Hochländer

In drei Gebieten der Tropen- und Subtropenzone erreichen Hochländer über große Gebiete hinweg Höhen von 4000—4500 m (Tibet, Bolivien) bzw. 2000—3000 m (Ostafrika, Äthiopien). Diese Hochländer wirken für die Atmosphäre als hochgelegene Heizfläche, was im Bereich Tibet (7) und Bolivien (8) inzwischen aerologisch nachgewiesen ist. Hierdurch entsteht — im Falle der subtropischen Hochländer wenigstens im Sommer der jeweiligen Halbkugel — eine zusätzliche thermische Zirkulation, die im Randgebiet der Hochländer zu einem System konvergierender Winde in Bodennähe und divergierender Komponenten in der Höhe führt. Wegen der Existenz des Hochlandes kann sich die bodennahe Konvergenzzone wettermäßig nur gebietsweise auswirken. Dagegen ist die überwiegend thermisch bedingte Ablenkung der Höhenströmung von weitreichender Wirkung. Die Erwärmung der Hochländer läßt im Sommer den meteorologischen Äquator weit polwärts ausgreifen, in Indien bis etwa 28° N, im Inneren Südamerikas bis etwa 16° S; entsprechend verbreitert sich der äquatoriale Regengürtel. Im Randgebiet zwischen den großen planetarischen Windgürteln und der thermischen Hochlandzirkulation kommt es zu regionalen Strömungsdivergenzen, wie über der Wüste Tharr sowie im Grenzgebiet zwischen Kenya und Äthiopien und im Inneren der Somali-Halbinsel, die zu Absinken und damit zu ausgedehnten Trockengebieten Anlaß geben.

D) Divergenzen und Konvergenzen infolge unterschiedlicher Bodenreibung

Weht der Gradientwind parallel zu einer Küste, so entsteht infolge der unterschiedlichen Bodenreibung im Küstengebiet eine Reibungsdivergenz, wenn das Druckgefälle landeinwärts gerichtet ist, eine Reibungskonvergenz, wenn das Druckgefälle meerwärts gerichtet ist. Der erstgenannte Fall — den TREWARTHA auf der Grundlage von LAHEY'S schöner Arbeit behandelt — ist von Bedeutung an der Nordküste Südamerikas, sowie an der Ostküste der Somali-Halbinsel und an der Küste Südwestafrikas, wobei jedesmal eine Trockenzone den Divergenzbereich charakterisiert. Die entsprechende Reibungskonvergenz über See wirkt sich offenbar weniger deutlich aus, da über See allgemein die Reibung viel geringer ist; die Reibungskonvergenz bei auflandigen Winden an der Küste ist allgemein bekannt (vgl. hierzu auch BRYSON und KUHN, Erdkunde 15, 1961, 287—294); eine Reibungs-Divergenz ist meist auch mit aufquellendem Tiefenwasser gekoppelt.

E) Divergenzen und Konvergenzen der Geschwindigkeit

Wenn innerhalb einer einheitlichen großräumigen Luftströmung in Bodennähe die Geschwindigkeit abnimmt (Konvergenz) oder zunimmt (Divergenz), kommt es gleichfalls zur Auslösung der entsprechenden Vertikalbewegung. Beispiele für eine Geschwindigkeits-Konvergenz mit aufsteigender Luftbewegung, also Verstärkung der Konvektion und der Niederschläge, bilden die Passate bei Annäherung an die Äquatorzone, insbesondere der Nordostpassat auf dem Pazifik und dem Atlantik sowie der Südostpassat auf dem Indischen Ozean. Geschwindigkeits-Divergenzen führen zu Absinken und Aridität, so über dem Seegebiet des Karibischen Meeres (Niederländisch West-Indien) und im Südwestmonsun im Seegebiet ostwärts der Somali-Halbinsel, aber auch allgemein im Einzugsgebiet der Passate, besonders auf der Ostseite der subtropischen Hochdruckzellen.

F) Einseitige und zweiseitige ozeanische Divergenzen

Da die primär vom Windschub angetriebenen Oberflächenströmungen der Ozeane von der Windrichtung um etwa 30° im antizyklonalen Sinn abweichen (auf der Nordhalbkugel nach rechts, auf der Südhalbkugel nach links), kommt es in verschiedenen Küstengebieten bei etwa küstenparallelen oder ablandigen Winden zu dem wohl-

bekanntem Phänomen des kalten Auftriebwassers. Beispiele hierfür sind Humboldtstrom und Benguelastrom auf der Südhalbkugel, der Kalifornienstrom auf der Nordhalbkugel; in geringerem Umfang gibt es entsprechende Auftriebsgebiete an der Nordküste Südamerikas, in einem kleinen Teil der Guinea-Küste (Ghana) sowie an der Somalikküste.

Im Bereich des äquatorialen Pazifik (sowie vielleicht auch in dem des Atlantik) wird auf die vom (nur schwach konvergierenden) Windfeld hervorgerufene, auf beiden Seiten des Äquators entgegengesetzt gerichtete Ablenkung der Oberflächenströmung (des Äquatorialstroms) eine weitreichende zweiseitige Divergenz des Oberflächenwassers und damit der Auftrieb kühleren Tiefenwassers hervorgerufen. In all diesen Gebieten kommt es zu auffallend niedrigen Lufttemperaturen, ziemlich großer Häufigkeit von Nebel oder Hochnebel und tiefliegenden Inversionen, d. h. im ganzen zu sehr stabiler Schichtung mit völligem Fehlen konvektiver Vorgänge, also Niederschlagsarmut.

Diese Beispiele mögen genügen, um anzudeuten, wie durch den Ausbau des üblichen Lehrgebäudes der Klimatologie und die Einbeziehung dynamischer Gesetzmäßigkeiten viele Problem-Klimate aus ihrer Sonderstellung herausgelöst werden können und physikalisch verständlich werden. Vom Standpunkt des Nicht-Spezialisten aus ist schon die Formulierung klimatischer „Probleme“ — deren Existenz vielfach gar nicht gesehen wird — durch TREWARTHA ein wirkliches Verdienst, das die Forschung erheblich befruchten sollte.

Das Schwergewicht von TREWARTHA'S Darstellung liegt auf dem Gebiet der synoptischen, nur z. T. auch auf dem der dynamischen Klimatologie (im Sinne von HESSELBERG). Dagegen wird nach Auffassung des Referenten die primäre Bedeutung des Strahlungs- und Wärmehaushalts nicht genügend herausgestellt, die auch dynamische Vorgänge — z. B. die thermisch bedingten Strömungskonvergenzen oder -divergenzen — verursachen kann. Hier haben sich aus den klassischen Arbeiten von MILANKOVITCH, SVERDRUP und ALBRECHT (9) grundsätzliche Fragestellungen ergeben, die sich keinesfalls auf die Mikroklimatologie beschränken, sondern auch in der Makroklimatologie grundlegend sind. Aber für eine systematische Behandlung dieser Zusammenhänge ist die Zeit offenbar noch nicht reif.

In jedem Falle — ganz unabhängig von den hier gegebenen Ergänzungen allgemeiner Natur und von den in Einzelfragen möglicherweise abweichenden Stellungnahmen — gehört TREWARTHA'S Buch zu den anregendsten und fruchtbarsten Darstellungen der Klimatologie, mit der sich jeder Klimatologe auseinandersetzen muß, und die jedem regional tätigen Geographen reiche Informationen übermittelt.

Literatur:

- 1) G. T. TREWARTHA: The Earth's Problem Climates. The University of Wisconsin Press, 1961, 334 S., 7,50 \$.
- 2) C. TROLL: Z. Ges. Erdk. Berlin 1935, 241—281.
- 3) C. TROLL, R. SCHOTTENLOHER. Peterm. Geogr. Mitt. 85 (1939), 217—238.
- 4) C. TROLL: Bonner Geogr. Abh. 9 (1952), 124—182.
- 5) U. SCHWEINFURTH: Erdkunde 10 (1956), 297—302.
- 6) H. FLOHN: Beitr. Phys. Atmos. 30 (1957), 18—46.
- 7) H. FLOHN, K. P. RAMAKRISHNAN, P. KOTESWARAM, P. R. PISHAROTY u. a. in "Monsoons of the World", New Delhi 1960.
- 8) W. SCHWERDTFEGER: Meteor. Rundsch. 14 (1961), 1—6.
- 9) F. ALBRECHT: Wiss. Abhandl. Reichsanst. f. Wetterdienst 8, 2 (1940).