

Werk

Jahr: 1930

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 GEOGR PHYS 203:6

Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

Werk Id: PPN101433392X_0006

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0006

LOG Id: LOG_0067

LOG Titel: Das unperiodische Element im Tropenklima

LOG Typ: article

Übergeordnetes Werk

Werk Id: PPN101433392X

PURL: <http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X>

OPAC: <http://opac.sub.uni-goettingen.de/DB=1/PPN?PPN=101433392X>

Terms and Conditions

The Goettingen State and University Library provides access to digitized documents strictly for noncommercial educational, research and private purposes and makes no warranty with regard to their use for other purposes. Some of our collections are protected by copyright. Publication and/or broadcast in any form (including electronic) requires prior written permission from the Goettingen State- and University Library.

Each copy of any part of this document must contain these Terms and Conditions. With the usage of the library's online system to access or download a digitized document you accept the Terms and Conditions.

Reproductions of material on the web site may not be made for or donated to other repositories, nor may be further reproduced without written permission from the Goettingen State- and University Library.

For reproduction requests and permissions, please contact us. If citing materials, please give proper attribution of the source.

Contact

Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen
Georg-August-Universität Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen
Germany
Email: gdz@sub.uni-goettingen.de

von Einzelheiten, wie scharfe Erfassung der Inversionen, der Temperaturunterschiede innerhalb und außerhalb von Wolken und dergleichen, ein Thermometer notwendig sein, welches keine merkliche Einstellträchtigkeit aufweist. So könnte auch in bequemer Weise die Registrierung der Temperatur kontrolliert und die Einstellträchtigkeit eliminiert werden.

Zwei vorläufige Versuchsaufstiege mit Flugzeug ergaben die völlige Brauchbarkeit dieser elektrischen Meßmethode, die Ablesungen des Zeigergalvanometers konnten sehr sicher gemacht werden. Es gelang auch, zur Erfassung der Temperaturunruhe die Ablesegeschwindigkeit durch einen Beobachter allein wesentlich zu erhöhen: jede Meßserie, bestehend aus 25 Ablesungen, dauerte nur 70 sec (Zeit, Luftdruck, 10 Temperaturablesungen, Luftdruck, 10 Temperaturablesungen, Luftdruck, Zeit).

Was die Temperaturunruhe in der freien Atmosphäre betrifft, so lassen die bisher vorliegenden Messungen noch keinen endgültigen Schluß zu: Die Temperaturänderung mit der Höhe erfolgte äußerst gleichmäßig ohne nennenswerte Schwankungen. Es ist aber möglich, daß aus übergroßer Vorsicht — um den dünnen Platinfaden nicht zu gefährden — die Ventilation allzu stark gedrosselt wurde, so daß sie unwirksam war und rasche Temperaturschwankungen sich nicht auswirken konnten. Nachträglich zeigte sich, daß ein solcher in einem Rohr frei gespannter Platindraht selbst Windstärken von 30 m/sec ohne jede Drosselung der Luftzufuhr aushält.

Anmerkung bei der Korrektur: Nachträglich konnten noch zwei Flugzeugaufstiege, bei welchen der in der Achse eines Rohres gespannte Platindraht frei dem vollen Ventilationsstrom ausgesetzt war, gemacht werden. Es zeigte sich auch bei dieser Anordnung, daß in einiger Höhe über dem Boden die Temperaturunruhe zumeist unmerklich war.

Das unperiodische Element im Tropenklima

Von K. Knoch

Neben dem ungemein regelmäßigen Ablauf des Wetters im Tropenklima gehen charakteristische Witterungsänderungen vor sich, die als das „unperiodische Element im Tropenklima“ bezeichnet werden. Sie sind bisher in der Literatur gewöhnlich nicht richtig eingeschätzt worden. Sie können auftreten als Schwankungen in der jährlichen Verteilung der Niederschläge und deren Jahresmenge, als heftige Regengüsse in sonst regenarmen Gebieten, als unperiodische Temperaturänderungen, als kalte Winde, als Druckschwankungen und als Sturmerscheinungen. Entsprechende Beispiele werden beigebracht. Abgesehen von den Veränderungen in der jährlichen Verteilung der Niederschläge, die mit Verschiebungen der großen Windgürtel der Erde in Verbindung gebracht werden, ist in den meisten anderen Fällen der Vorstoß von Luftmassen aus höheren Breiten in die Tropen als Ursache anzusehen. Deshalb wird der Schluß gezogen, daß das unperiodische Element im Tropenklima ein Ausdruck ist für die Verbundenheit der Tropenzone mit den Klimazonen der höheren Breiten.

In der allgemeinen Charakteristik vom Tropenklima, die J. Hann in dem zweiten Bande seines Handbuches der Klimatologie gibt, bezeichnet er die größte

Regelmäßigkeit in den periodischen Witterungserscheinungen als den Grundzug des Klimas der Tropen. Er fügt hinzu, daß die „unperiodischen“ Erscheinungen, die in keiner unmittelbar ersichtlichen Abhängigkeit von dem täglichen und jährlichen Laufe der Sonne stehen, gegen die regelmäßig periodisch wiederkehrenden Erscheinungen stark zurücktreten. Diese knappe, aber charakteristische Schilderung des Tropenklimas ist dann später, wie so viele Stellen aus dem klassischen Handbuch, in andere Darstellungen und Lehrbücher übergegangen, wobei meist überhaupt nur der ausgesprochenen Regelmäßigkeit der periodischen Erscheinung Erwähnung getan wird, während die Tatsache, daß im Tropenklima auch unperiodische Erscheinungen auftreten, häufig übersehen wird. Dabei handelt es sich bei diesen Witterungsvorgängen unperiodischer Natur fast durchweg um sehr eindrucksvolle Erscheinungen mit nachhaltiger Wirkung.

Nachdem ich in früheren Untersuchungen schon mehrfach auf die Wirkung dieser unperiodischen Vorgänge gestoßen bin, erschien es mir angebracht, sie hier in zusammenfassender Darstellung zu behandeln, wobei durchaus nicht beabsichtigt ist, alle Vorgänge dieser Art zu erwähnen. Vielmehr sollen nur einige typische Erscheinungen herausgegriffen werden. Ich fasse sie unter dem allgemeinen Begriff „das unperiodische Element im Tropenklima“ zusammen.

In neuester Zeit hat S. S. Visher^{9) 10) 11)}, der das Glück hatte, auf einer längeren Reise das Tropenklima des Pazifischen Ozeans auf sich einwirken zu lassen und an Ort und Stelle wertvolles Material sammeln konnte, auf die Unregelmäßigkeiten in der Tropenwitterung hingewiesen, die es auch nach seiner Meinung nicht rechtfertigen, den gleichmäßigen Charakter des Tropenklimas so stark zu betonen, wie es gewöhnlich geschieht. Allerdings faßt er den Begriff Veränderlichkeit (variability) weiter, als es in diesem Aufsatz geschieht. Visher versteht nämlich darunter auch die starken täglichen Schwankungen der Temperatur, wie sie in den Grenzgebieten der Tropen auftreten, und auch die durch Land- und Seewinde in den küstennahen Gebieten verursachten Temperaturänderungen. Da diese Erscheinungen aber doch noch mit einer gewissen Regelmäßigkeit auftreten, fallen sie außerhalb des Rahmens unserer Betrachtung.

Unter den Begriff „unperiodisches Element der Tropenzone“ sollen auch nicht die offensichtlich als Ausnahmegebiete zu bezeichnenden Gebiete gerechnet werden, die die gleichmäßige zonale Anordnung der meteorologischen Elemente innerhalb des Tropengürtels so deutlich unterbrechen. Solche Ausnahmegebiete treten vornehmlich in der Verteilung der jährlichen Niederschlagssummen hervor, indem sie sich in dem tropischen Regengürtel mit einer Jahressumme von mehr als 2000 mm Niederschlag als deutliche Trockengebiete abheben. Beispiele solcher Ausnahmegebiete sind z. B. das Trockengebiet an der venezolanischen Küste, unter Umständen auch die allerdings noch nicht sicher begründeten Gebiete geringerer Niederschläge im Amazonasgebiet, z. B. Floriano Peixoto mit nur 300 mm, Boa Vista mit 1300 mm in einer Umgebung mit mehr als 2000 mm.

Ferner gehört hierher das niederschlagsarme Gebiet an der Nordküste des Guineagolfes, das etwa mit der Goldküste zusammenfällt. Es unterbricht den

gerade über Afrika sonst sehr gut ausgesprochenen Regengürtel im zentralen Tropengebiet, indem in ihm die Jahressumme bis auf unter 700 mm im Mittel herabsinkt. Die Ursache wird im kühlen Küstenwasser gesucht, das sich besonders in den Monaten Juli bis September dort einstellt und diese Monate, die gerade in den Hinterlande der Küste zu den feuchteren gehören, an der Küste selbst Trockenheit bringen läßt. Schließlich soll auch die bis jetzt noch nicht in ihren Ursachen vollständig geklärte, sehr auffallende Unterbrechung des tropischen Regengürtels über dem Stillen Ozean in der Gegend der Maldeninsel hier erwähnt werden. Während der tropische Regengürtel den übrigen Inseln 2000 bis 4000 mm Niederschlag im Jahre bringt, haben die Messungen auf der Maldeninsel im Durchschnitt einer 30jährigen Beobachtungsreihe 1890 bis 1919 nur rund 720 mm ergeben. Diese erwähnten Ausnahmegebiete, denen sich leicht noch andere aus der übrigen Tropenzone einfügen ließen, sind an einen bestimmten Erdraum gebunden. Sie sind Ursachen zuzuschreiben, die immer wieder an diesen Stellen wirksam werden. Man könnte sie fast als statisch bedingt bezeichnen. Sie fallen, wenn man nur von den mittleren Verhältnissen ausgeht, nicht mehr in den Rahmen unserer Betrachtung. Erst dann haben wir uns mit ihnen zu beschäftigen, wenn in ihnen in gewissen zeitlichen Abständen Schwankungen der Witterung vor sich gehen, die sich sehr stark von den Mittelwerten entfernen und durchaus unperiodischer Natur sind.

Zwei Gründe sind es nun, die diese starken Anomalien in der Witterung der Tropenzone veranlassen können. Der erste Grund liegt in Unregelmäßigkeiten bei der sonst üblichen Wanderung der innertropischen Regenzone. Er wird vor allem im Grenzgebiet des tropischen Regengürtels wirksam. Den zweiten Grund erkennen wir in dem Vorstoßen von Luftmassen höherer Breiten bis in die innere Tropenzone und darüber hinaus sogar bis zur anderen Hemisphäre. Im ersten Falle entwickelt sich ein anomaler jährlicher Gang der Niederschläge, im zweiten Fall entstehen plötzlich auftretende Niederschläge in sonst regenlosen Gebieten oder häufig auch Kälteeinbrüche in Verbindung mit Sturmerscheinungen. Diese unperiodischen Witterungsvorgänge sollen an einigen typischen Beispielen geschildert werden.

Den tropischen Regengürtel sehen wir von allen Kontinenten noch am regelmäßigsten in Afrika ausgebildet. An seiner Nordgrenze haben wir im Sudan auch ein Gebiet, wo sich das Unperiodische in der jahreszeitlichen Verschiebung des Regengürtels sehr stark äußert. Dem Sudan wird in früheren Zeiten eine bedeutend dichtere Bevölkerung als heute zugeschrieben, wo man nur noch mit elf Bewohnern auf die Quadratmeile rechnet. Das Sudanklima zieht sich in einem Band vom Atlantischen Ozean bis zum Roten Meere hin. G. T. Renner⁸⁾ nennt diesen Landstrich treffend eine „Pufferzone“ zwischen dem Trockenklima der Sahara und dem regenfeuchten Klima der Guineaküste und des Kongobeckens. Und wie eine jede Pufferzone ein Spielball zweier Einflüsse ist, so unterliegt der Sudan auch bald mehr dem saharischen Klima, bald mehr dem regenfeuchten Klima der niedrigen Breiten.

In der normalen Entwicklung der Jahreszeiten verschiebt sich das Gebiet starker Niederschläge über den äquatorialen Teilen vor Afrika in den Nordsommermonaten stark nach Norden (siehe z. B. die Isolethendarstellung der monatlichen Regensmengen auf den Meridianen 15 und 33^o östlicher Länge bei W. Köppen: Die Klimate der Erde, S. 172 u. 173) und bringt dem Sudan die Regenzeit. Diese tritt aber in Wirklichkeit nur sehr selten in normaler Ausbildung auf, sondern Abweichungen vom Mittel sind die Regel. Außergewöhnliche nasse Jahre und exzessiv trockene Jahre wechseln einander ab und bringen dem Ackerbau der spärlichen Bevölkerung die größten Gefahren. So war 1892 ein Jahr großer Hungersnot in Wadai, und 1913 soll die Hälfte und streckenweise noch mehr der Bevölkerung gleichfalls der Hungersnot zum Opfer gefallen sein. Später Einsatz der Regen wie 1914 oder ganz unregelmäßiges Auftreten der Niederschläge wie 1922 kann dem Ackerbau auch sehr hinderlich sein. Der gegenteilige Exzeß der Witterung, d. h. zu starke Regengüsse wie in 1870 oder 1916 und 1917, können mit den sie begleitenden Überschwemmungen gleichfalls die Ernte vernichten.

Man hat dieses unperiodische Auftreten der Niederschläge mit einer wechselnden Intensität des von dem Guineabusen in das Innere von Afrika strömenden Monsuns in Verbindung gebracht. In der schon erwähnten Untersuchung von G. T. Renner wird auch in zwei schematischen Kärtchen gezeigt, wie sich die Regenverteilung in einem Jahr mit gut entwickeltem Monsun von einem solchen mit einem schwach entwickelten unterscheidet. Im ersten Falle schiebt sich die 300 mm-Jahresisohyete bis auf 17^o nördlicher Breite vor, im zweiten Falle reicht sie im Innern des Kontinents noch nicht bis auf 10^o nördlicher Breite. Dies bedeutet, daß der ganze Sudan nicht mehr die für den Ackerbau notwendige Feuchtigkeit empfängt. Renner bringt die Jahre eines ausgesprochenen Niederschlagsdefizits über dem Sudan mit einer geringeren Entwicklung der Saharadepression in Verbindung, und umgekehrt sollen die regenreichen Jahre mit einer vertieften Depression zusammenfallen. Diese wird einen verstärkten Monsun an der Guineaküste erzeugen, und auch von der ostafrikanischen Küste können die warmfeuchten Luftmassen vom Indischen Ozean weiter in das Innere des Kontinents bis zum Sudan vorgetragen werden, so daß dieser dann ausreichend beregnet wird. Bei geringer Entwicklung der Saharadepression empfangen sowohl die Sansibarküste als auch die Guineaküste reichlichen Niederschlag, im westlichen und östlichen Sudan stellt sich aber Trockenheit ein. Obgleich dies die allgemein übliche Auffassung ist, wird sie aber doch noch nicht vollständig befriedigen. Man kann nur mit Sicherheit annehmen, daß diese Art der unperiodischen Vorgänge am Rande der tropischen Regenzone bedingt sind durch Schwankungen der Intensität der einzelnen Systeme im allgemeinen Luftkreislauf der Atmosphäre. Gerade in den letzten Jahren ist man von den verschiedensten Seiten darangegangen, dieses Problem zu klären, ein sicheres Ergebnis ist diesen Arbeiten aber noch nicht beschieden gewesen.

Ähnliche Schwankungen der Niederschläge in den einzelnen Jahren sind uns aus Indien bekannt, wo trockene Jahre namentlich in Zentralbirma, in Dekhan und

vor allem in Nordwest-Vorderindien (in Rayputana) die schlimmsten Hungersnöte verursachen können. Wir finden sie auch an der Südgrenze des tropischen Regengürtels in den Savannen von Südafrika, während sie in Südamerika sich in stärkerem Maße nur in den Trockengebieten über Ostbrasilien und an der venezolanischen Küste bemerkbar machen. In allen Fällen müssen wir uns leider noch darauf beschränken, die Tatsachen zu konstatieren, eine vollständige Aufdeckung der Gründe ist uns noch nicht gelungen.

Handelt es sich dabei, wie dies allgemein angenommen wird, um Verlagerungen im allgemeinen Windsystem der Erde, dann muß auch erwartet werden, daß die Schwankungen an den verschiedensten Erdstellen miteinander in Verbindung stehen. Ihre tatsächliche Verknüpfung ist uns aber noch nicht bekannt. Die bisher errechneten Korrelationen deuten zwar auf mehr oder minder gut fundierte Zusammenhänge hin, die Entwicklung im Einzeljahr wird auf diese Weise aber noch nicht geklärt.

Die eben behandelten unperiodischen Änderungen waren Witterungsanomalien, die einen längeren Zeitraum charakterisieren und die wir einer allgemeineren Ursache zuschreiben müssen. Bei der jetzt zu besprechenden zweiten Art der unperiodischen Witterungsvorgänge in den Tropen sehen wir zwar auch einen Vorgang von höchster Wirkung, doch ist er meist an einen viel kürzeren Zeitraum, herab bis zu wenigen Tagen, gebunden. Ihrer Natur nach sind sie auch bereits ziemlich geklärt, da wir auf Grund von neueren Untersuchungen annehmen dürfen, daß sie mit Einbrüchen von Luftmassen höherer Breiten in die Tropenzone zusammenhängen. In ihrer äußeren Erscheinungsform treten sie uns entweder als heftige Regengüsse, auch in wüstenhaften Gebieten, oder als Sturmbildungen meist verbunden mit Abkühlung, entgegen.

Ein schönes Beispiel für das Auftreten von heftigen Regengüssen in einer regenarmen Zone kennen wir von der peruanischen Küste. Hier treten in der Trockenzone, die südlich des Golfes von Guayaquil beginnt und an der peruchilenischen Grenze zu echter Wüste wird, in großen zeitlichen Abständen starke sommerliche Regengüsse auf. Man brachte sie früher mit dem Umschwenken der Küstenströmung in Verbindung, denn gleichzeitig mit dem Auftreten der ungewöhnlichen Niederschläge wurde festgestellt, daß der an dieser Küste nach Norden ziehende kühle Humboldtstrom abgelöst wird durch einen aus entgegengesetzter Richtung kommenden warmen Strom. Die einheimische Küstenbevölkerung hat ihn, da er gewöhnlich zur Weihnachtszeit aufzutreten pflegt, den Namen „el niño“ (das Kind) beigelegt, weshalb das ganze Problem zweckmäßigerweise auch als El niño-Problem zu bezeichnen ist. Unter der Einwirkung der veränderten Temperaturverhältnisse der Küstenströmung setzt eine starke Beeinflussung der Meeresfauna ein, so daß die fischereitreibenden Küstenbewohner den schwersten Schädigungen ausgesetzt sind. Über dem Lande können die Regengüsse an den dem trockenen Klima angepaßten leichten Bauwerken schwerste Zerstörungen anrichten. Im März 1925 betrug die Regenmenge fast 400 mm. Näheres siehe Klimakunde von Südamerika⁷⁾ S. 81.

Erst durch die Untersuchung von F. Zorell¹²⁾, der die Wetterlage auf Grund der längs der pazifischen Küste verkehrenden deutschen Dampfer studierte, wissen wir, daß die auffallenden Niederschlagsbildungen nichts mit den veränderten Strömungsverhältnissen zu tun haben. Vielmehr ließ sich nachweisen, daß die starken Niederschläge mit einem bemerkenswerten Nachlassen des Südostpassats zusammenfallen, während gleichzeitig Nordwinde, wie sie sonst nur im Golf von Panama auftreten, weit nach Süden vorstoßen. Wir müssen demnach annehmen, daß in gewissen Jahren der Mallungengürtel sehr weit nach Süden verschoben wird, während von Norden her kältere Luftmassen nachdringen und Veranlassung zu heftigen Kondensationen geben.

Vielleicht ist ein Gegenstück zu dem El niño-Problem der südamerikanischen Westküste in Südafrika vorhanden. Nach den Schilderungen von Pechuel-Loesche ist das Klima der Loangoküste gleichfalls starken unperiodischen Änderungen der Niederschläge von Jahr zu Jahr ausgesetzt. Auch hier wird eine Richtungsänderung der Küstenströmung zeitweise festgestellt, indem die kühle Benguelaströmung von einem Zweig der warmen Guineaströmung abgelöst wird. Eine endgültige Klärung der Gründe für diese Witterungsschwankungen könnte aber erst eine synoptische Untersuchung bringen.

Daß im übrigen auch über dem afrikanischen Kontinent kühlere Luftmassen der Nordhemisphäre bis in die Nähe des Äquators vordringen, ist bekannt. In seiner Monographie über die Niederschlagsverhältnisse von Palästina konnte neuerdings D. Ashbell¹⁾ einen solchen Vorstoß durch Zeitlinien sogar festlegen.

Der Einbruch kühlerer Luftmassen über den Äquator hinweg im Bereiche des westlichen Stillen Ozeans scheint auch daran beteiligt zu sein, daß die vorhin schon erwähnte Regenarmut der Maldeninsel zeitweise unterbrochen wird und dort stärkere Niederschläge niedergehen. Die Maldeninsel liegt unter 3° 59' S, 154° 58' W und gehört zur Gruppe der zentralen polynesischen Sporaden. Bezüglich der großen Windgürtel liegt die Insel auf der Grenze zwischen Südost- und Nordostpassat. Die Ostrichtung überwiegt unter den Winden das ganze Jahr hindurch. Daneben kommen nur noch NE und SE stärker in Betracht, und zwar überwiegt der NE-Passat durchschnittlich vom November bis Mai, der SE-Passat dagegen vom Juni bis Oktober. Neben diesem normal entwickelten Passat lassen in gewissen Monaten auftretende W- und NW-Winde deutliche Störungen des regulären Windsystems erkennen. Ein vom Verfasser⁵⁾ durchgeführter Vergleich zwischen ihrem Auftreten und der Niederschlagsmengen zeigt, daß die auffallendsten Anomalien des Niederschlags in dem Sinne stärkerer Niederschläge in den Monaten Januar bis März, teilweise bis April, der Jahre 1914, 1915 und 1919 sich mit Beobachtungen von NW-Winden in Einklang bringen lassen. Diese nördlichen Winde schieben sich nicht etwa als vereinzelte, kurz dauernde Strömungen zwischen die Passatrichtungen ein, sondern sie treten gruppenweise, häufig an vier bis fünf aufeinander folgenden Tagen auf. Es muß sich demnach eine ziemlich beständige Luftdruckverteilung herausgebildet haben. Wenn man berücksichtigt, mit welcher Regelmäßigkeit sonst der Ostquadrant vertreten ist, ist das Ein-

schieben der Nordwestrichtung etwas sehr Auffallendes. Jedenfalls darf aber wohl jetzt schon als sicher angenommen werden, daß in dem Trockenbezirk der Maldeninsel ganz ähnlich wie in dem Trockengebiet der südamerikanischen Westküste zeitweise stärkere Niederschläge durch Vorstoßen von Luftmassen von Norden her verursacht werden. Die Nordwintermonate sind dabei auch im Pazifischen Ozean bevorzugt.

In einer sehr bemerkenswerten Studie über das Zusammentreffen der Passate (clash of the trades) im Pazifischen Ozean haben sich C. E. P. Brooks und H. W. Braby³⁾ gleichfalls mit den trockenen und nassen Witterungsperioden in dem Raume Ozean-, Fanning- und Maldeninsel beschäftigt. Während den Trockenperioden finden auch diese Autoren vorwiegend östliche Winde, die einem westlich der Ozeaninsel liegenden Tiefdruckgebiet zuströmen sollen. In zwei näher untersuchten feuchten Perioden wurden dagegen ganz unregelmäßige Winde, mit Kalmen durchsetzt, gefunden, und es wird angenommen, daß das eben erwähnte Tief dann östlich der Ozeaninsel liegt. Da aber diese Annahme sich vorerst nur auf ein sehr geringes Material stützen kann, glaubt der Verfasser doch an seiner oben ausgesprochenen Vermutung festhalten zu dürfen, daß die NW Winde auf Maldeninsel wesentlich am Zustandekommen der Niederschläge beteiligt sind.

Bei der Klärung dieser Vorgänge darf man auch nicht versäumen, den Ablauf der Witterung im Stillengürtel zu beachten, also in jener Konvergenzlinie größten Maßstabes, die auf den Ozeanen zwischen den beiden Passaten angetroffen wird. Gerade in dem Stillengürtel ist man berechtigt, von dem unperiodischen Element der Witterung zu sprechen. C. S. Durst⁴⁾ hat diese starken Veränderungen von Tag zu Tag methodisch in einwandfreier Weise auf Grund der Beobachtungen der diesen Gürtel kreuzenden Schiffe untersucht. Aus isoplethären Darstellungen, die sich auf See- und Lufttemperatur, Wind- und Wasserströmung sowie die Richtung und Bewegung der oberen Wolken beziehen, ergibt sich zunächst deutlich, daß der Kalmengürtel um eine mit den Jahreszeiten veränderte Mittellage hin- und herschwankt. Dabei kann er zeitweise bis zu 600 Meilen breit werden, sich aber auch zu einem verschwindend schmalen Streifen zusammenziehen. Charakteristisch sind ferner die bemerkenswerten Temperaturänderungen innerhalb von wenigen Tagen, so daß sich warme und kalte Perioden feststellen ließen. Bei ihnen konnte eine bestimmte Beziehung zum Zug der oberen Wolken nachgewiesen werden. Diese ziehen nämlich vor einer warmen Periode stetig aus Nord oder Nordost heran, während beim Temperaturfall sich die Bewegungsrichtung ändert und die Wolken aus dem Quadranten Osten bis Süd kommen. Bei kalten Perioden sind diese Strömungsrichtungen zwar nicht so entschieden ausgedrückt, im großen und ganzen sind sie aber doch umgekehrt wie bei den warmen Perioden.

Unabhängig von den Durst'schen Untersuchungen konnte der Verfasser⁶⁾ selbst die unperiodischen Temperaturschwankungen im Stillengürtel an den von E. Barkow, dem leider frühzeitig verstorbenen Meteorologen der Deutschen Antarktischen Expedition, mitgebrachten Registriermaterial an Bord der „Deutschland“ nachweisen. Auf der Ausreise ist das Schiff nämlich bei $71\frac{1}{2}^{\circ}$ nördlicher

Breite vom 6. bis 16. Juli 1911 ständig im Stillengürtel gewesen. Nach den 7a-Werten betrug die interdiurne Veränderlichkeit:

Nordostpassat	0.4
Stillenzone	1.7
Südostpassat	0.9.

Auch die zwischenstündliche Veränderlichkeit lag beim mittleren täglichen Gang der Temperatur im Stillengürtel stets über der im Passatgebiet, wo der Wert von 0.3° nur selten erreicht wurde, während er im Stillengürtel fast stets darüber lag und bis 0.9° anstieg. Der Charakter der Witterung war in diesen Tagen nur hinsichtlich der geringen Luftbewegung einheitlich. Im übrigen wechselte er sehr. Tage mit trüber Witterung und langdauerndem starken Regen wurden abgelöst von solchen mit geringer Bewölkung und trockenem Wetter. Die Erklärung wurde darin gesucht, daß die die Stillen begrenzenden Passate zeitweise weiter vorstoßen und dann trocknere Luft herbeiführen. Die unperiodischen Temperaturänderungen beschränken sich offenbar auf die schmale Zone, in denen die Luftbewegung sehr schwach ist. In den Passaten selbst sind sie nicht zu finden. Mit Temperaturunterschieden zwischen den beiden Passaten ist aber sicher zu rechnen, und zwar dürfte die jeweilige Winterhalbkugel auch den kühleren Passat haben. Von diesen Gedanken ausgehend, hat der Verfasser dann gelegentlich der Verarbeitungen der „Deutschland“-Registrierungen die Ansicht ausgesprochen, daß die als Konvergenzlinie aufzufassende Trennungszone zwischen den beiden Passaten nicht geradlinig zu verlaufen braucht, sondern daß wir eine Art „Verzahnung“, ein Ineinandergreifen der beiden Passate annehmen müssen. Ein Schiffskurs, der sich wie im Fall der „Deutschland“ in der Nähe der Konvergenzlinie auf einem und demselben Breitenkreise hielt, mußte demnach infolge des gezackten Verlaufs der Grenzlinie bald in den einen, bald in den anderen Luftkörper führen und war demnach für die Aufzeichnung dieser unperiodischen Temperaturänderungen günstig. Nimmt man außerdem an, daß an der Passatgrenzlinie noch fortschreitende Wellenbewegungen vor sich gehen — und es spricht nichts gegen die Annahme —, dann muß aber auch ein feststehender Punkt im Stillengürtel diese unperiodischen Änderungen der Temperatur verspüren. Jedenfalls brauchen sie nicht etwa durch die Schiffsbewegung vorgetäuscht zu sein.

Später hat dann A. Defant auf Grund der Erfahrungen, die er auf den nördlichsten Profilen der „Meteor“-Forschungsfahrt sammeln konnte, ähnliche Anschauungen von einer „Verzahnung“ der beiden Passate in einem schematischen Bild der Passatzirkulation festgehalten (Gutenberg, Lehrbuch der Geophysik. S. 880).

Außerhalb des Stillengürtels kommen unperiodische Änderungen der Temperatur in der ganzen Tropenzone vor. Nach den uns von der gemäßigten Zone her geläufigen Beträgen solcher Temperaturschwankungen sind sie zwar zahlenmäßig nicht bedeutend, aber bei der stärkeren Empfindlichkeit der Tropenbewohner auch geringeren Temperaturänderungen gegenüber sind sie für den menschlichen

Körper außerordentlich stark fühlbar, ja führen bekanntlich häufig zu den gefährlichsten Erkältungskrankheiten. Temperaturstürze um 4 bis 5°, wie sie in Begleitung von tropischen Gewittern aufzutreten pflegen, sind in dieser Hinsicht schon sehr gefürchtet. Hagelstürme können auch noch stärkere Kälteeinbrüche mit sich bringen.

Fühlbare Temperaturänderungen können auch durch kalte Fallwinde, die vom Gebirge nach der Ebene zu wehen, hervorgebracht werden. So kennt man am oberen Amazonas den „vento de cima“, den „Wind von oben“, der aus Westen also von den Anden her weht. Er soll kühler als der Passat sein. Als richtige Kälteeinbrüche sind aber die aus höheren Breiten vorstoßenden Luftmassen aufzufassen, die, wie wir schon vorher gelegentlich der ganz unperiodisch in Trockengebieten auftretenden Regengüssen feststellten, den Äquator erreichen und sogar darüber hinaus vorstoßen können. Eine besondere Geschlossenheit und Zähigkeit der Luftmasse und eine Wetterlage, die sie möglichst den Meridianen entlang nach niederen Breiten führt, sind Vorbedingung. Ein Überstreichen von warmen Meeresteilen und die damit verbundene langsame, aber intensive Anheizung von unten her kann die Wirkung von Kaltluft stark mindern und unter Umständen ganz unterdrücken. Dort, wo die Bodenkonfiguration das Auseinanderfließen der kalten Luftmasse verhindert und ihr außerdem die Richtung vorschreibt, wird die Wirkung verstärkt. So sind beispielsweise die Tropen des Doppelkontinents Amerika sowohl von Norden als auch von Süden her solchen Kaltlufteinbrüchen ausgesetzt. In Mexiko, den Golfstaaten und über den Westindischen Inseln bis zur Küste von Venezuela sind sie als Norther(Norder) bekannt. Sie stellen so empfindliche Kälteinvasionen vor, wie wir sonst in den Tropen nicht mehr antreffen, und können den empfindlichen Kulturen außerordentlichen Schaden zufügen. Weniger bekannt, aber auch sehr gut ausgebildet sind die Kältewellen, die aus höheren Breiten über Südamerika äquatorwärts vordringen. Dem Volke sind sie wohl bekannt. Im bolivianischen Tiefland werden die kalten Südwinde als Surazos bezeichnet. In Amazonien sind sie als Friagems immer noch auffallend. In der Gegend von Iquitos ist die letzte Hälfte des Juni durch eine ungewöhnliche Kälte, die mit südlichem Winde herangeführt wird, gekennzeichnet. Sie scheint ziemlich regelmäßig aufzutreten, denn sie wird im Volke als „inviernito de San Juan“ bezeichnet. Die Einwohner leiden dann sehr unter der Kälte, sie hüllen sich in ihre wärmsten Kleider und halten sich bei Holzkohlenfeuer zu Hause auf.

Der Kältevorstoß bis in die südamerikanischen Tropen wird zunächst durch die Mauer der Kordilleren begünstigt, die, ähnlich wie dies auch bei den Nortees in Nordamerika der Fall ist, die Geschlossenheit des Kältevorstoßes lange erhält, da sie ein Ausbreiten nach Westen unterbindet. Ein anderes sehr günstiges Moment liegt aber auch darin, daß das Tiefland des Chaco die Verbindung zwischen den Pampas Argentinien und den Quellflüssen des Madeira herstellt und damit ganz ausgesprochen das Einfallstor in die Tropen bildet. Daß gerade die Gebiete am oberen Amazonas von den aus Süden vorstoßenden Kältewellen getroffen werden, wird dadurch zwanglos geklärt.

Kaltlufteinbrüche kennen wir auch aus dem Tropengebiet Ostasiens. Selbst der Pandschab ist trotz der nach Norden zu abschließenden Walls des Himalaya im Westen ihnen noch ausgesetzt. Es erübrigt sich aber, näher hier darauf einzugehen, da in dem Handbuch der Klimatologie von Hann manches darüber gesagt wird. Im subtropischen Australien werden sie gleichfalls noch stark gespürt (southerly bursters), ob sie das mittlere und nördliche Australien noch merkbar beeinflussen, ist noch nicht bekannt geworden.

Unperiodische Schwankungen des Luftdrucks sind in den Tropen nur schwer nachzuweisen, da die regelmäßige tägliche Doppelwelle des Luftdrucks mit ihrer erheblichen Amplitude das Bild durchaus beherrscht. Kräftig heben sich nur die im Gefolge von tropischen Zyklonen auftretenden schnellen Druckerniedrigungen ab, die allgemein bekannt sind. Und doch deuten gewisse Witterungserscheinungen darauf hin, daß auch in den Tropen kleinere Depressionen auftreten. So berichtet z. B. C. Braak²⁾ in seinem „Klima von Niederländisch-Indien“ von Perioden vermehrten Regenfalls, die den Eindruck machen sollen als ob Depressionen vorbeiziehen. Die Länge dieser Regenperioden wechselt zwischen wenigen Tagen und einem halben Monat, manchmal halten sie auch sogar noch länger an. Auch werden von dem gleichen Verfasser an anderer Stelle einige Beispiele abnormer Witterungen gegeben, bei denen starke ungewöhnliche Druckunterschiede heftige Winde hervorrufen. Von den starken Regenfällen im nördlichen Vorderindien wissen wir, daß sie im Gefolge von flachen Depressionen auftreten, die von der Bai von Bengalen aus das Gangestal hinaufziehen.

S. S. Visher¹¹⁾ ist auf Grund eines eingehenden Studiums der täglichen Wetterkarte aus den Tropen bereits zu einer Statistik dieser Druckstörungen gekommen, die, wenn sie stark genug sind, die bekannten tropischen Stürme hervorrufen, aber auch als flache, sich aus dem Druckfeld nur schwach abhebende Depressionen doch bemerkbare Witterungsänderungen von Tag zu Tag hervorbringen. Es wurden als Jahresdurchschnitt folgende Häufigkeiten ermittelt:

	Hurri- kane	Stürme	De- pressionen
Westlicher Nordpazifischer Ozean (110° E bis 140° E Lg)	10	18	30
Mittlerer Nordpazifischer Ozean (140° E bis 140° W Lg) .	2	4	7
Östlicher Nordpazifischer Ozean (östlich von 140° W) . . .	2	3	3
Südlicher Pazifischer Ozean (160° E bis 130° W)	5	8	5
Australien und Randmeere (110° E bis 160° E)	5	8	10
Südlicher Indischer Ozean	8	5	?
Arabisches Meer	2	2	2
Bai von Bengalen	2	4	15
Westlicher Nordatlantischer Ozean	3	2	14

Auch diese Tabelle zeigt deutlich, daß das sogenannte unperiodische Element im Tropenklima durchaus nicht zu vernachlässigen ist.

Noch nicht genügend sind wir auch über die Sturmerscheinungen unterrichtet, die in der inneren Tropenzone auftreten. Aus den Berichten der

Reisenden können wir nur spärliche Mitteilungen darüber entnehmen. Am mittleren Amazonas sollen Anfang Februar Stürme aus dem Westen auftreten. Im Rio das Mortes-Gebiet traf die Leipziger Araguaya-Expedition im Jahre 1908 direkt eine „Sturmzone“ an. P. Fountain beobachtete Ende November 1884 (?) einen Sturm am Rio Purus aus Nordosten, der von einer durchdringenden Kälte begleitet war. A. R. Wallace erlebte im September 1848 mehrere Stürme auf dem Rio Negro mit sehr beträchtlicher Abkühlung, die teilweise den Hurrikanen glichen. In einem Walde unter $1^{\circ} 48'$ südlicher Breite, $58^{\circ} 28'$ westlicher Länge fand Paul Le Cointe ein Zerstörungsfeld von 2 km Länge und 100 m Breite, das den von starken Tromben angerichteten Verwüstungen glich (näheres siehe Klimakunde von Südamerika?) S. 36). Daß am Rande der Tropen, wo sich die Druckstörungen der höheren Breiten in gewissen Zeiten stärker bemerkbar machen können, Sturmerscheinungen auftreten, ist bekannt. Zu nennen sind beispielsweise die „Kona“- oder Südstürme auf den Hawaiinseln und die „collas“ der Philippinen. Hier ist schon der allmähliche Übergang zu den stärkeren unperiodischen Vorgängen der Witterung in den höheren Breiten ausgeprägt.

Aber auch das, was im Vorstehenden über die Schwankungen der Witterung in der eigentlichen Tropenzone gesagt wurde, dürfte genügend gezeigt haben daß das häufig zitierte Wort: „In den Tropen gleicht ein Tag dem anderen“ oder „Wetter und Klima sind in den Tropen identisch“, doch nur mit erheblichen Einschränkungen gilt. Allerdings sind, wie oben gezeigt wurde, erst Ansätze vorhanden, um zahlenmäßig die Häufigkeit des unperiodischen Elements im Tropenklima zu erfassen, aber man darf wohl als sicher annehmen, daß weitere Forschung die Bedeutung der unperiodischen Vorgänge noch als größer erkennen lassen wird, als wir augenblicklich vermuten. Und wenn man die Entstehungsgeschichte dieser Wetterschwankungen und -veränderungen nachgeht, wird man höchstwahrscheinlich auch zu einer Änderung der bisherigen Anschauung über das Tropenklima kommen.

Neben den sicher thermisch bedingten Erscheinungen wird künftighin doch mehr auf dynamisch bedingte Vorgänge Rücksicht zu nehmen sein, und aus den hier mitgeteilten Tatsachen läßt sich schon jetzt der Schluß ziehen, daß das unperiodische Element im Tropenklima ein Ausdruck ist für die Verbundenheit der Tropenzone mit den Klimazonen der höheren Breiten.

Literatur

1) D. Ashbell: Die Niederschlagsverhältnisse im südlichen Libanon, in Palästina und auf der nördlichen Sinai. Inaug.-Diss. Berlin 1930.

2) C. Braak: Het klimaat van Nederlandsch-Indie. Koninklijk Magn. en Met.-Observatorium te Batavia. Verhandelingen Nr. 8.

3) C. E. P. Brooks und H. W. Braby: The clash of the trades in the Pacific. Quart. Journal R. Met. Soc. 1921, S. 1—13.

4) C. S. Durst: The doldrums of the Atlantic. Meteorological Office. Geophysical Memoirs Nr. 28. London 1926.

⁵⁾ K. Knoch: Große Anomalien des Niederschlags in der Äquatorregion des Pazifischen Ozeans. Annalen der Hydrographie 1927, S. 361—367.

⁶⁾ Derselbe: Über die unperiodischen Schwankungen der Temperatur im atlantischen Stillengürtel. Bericht über die Tätigkeit des Preuß. Met. Inst. i. J. 1926, S. 69—84. Berlin 1927.

⁷⁾ Derselbe: Klimakunde von Südamerika. VIII und 349 S. Berlin 1930.

⁸⁾ G. T. Renner: A famine zone in Africa. Geographical Review XVI, 1926 S. 583—596.

⁹⁾ S. S. Visher, Variability of tropical climates. Met. Magazine 1923, S. 121—125, 154—159, 178—179.

¹⁰⁾ Derselbe: Weather changes in Fiji. Bull. American Met. Soc., Vol. V, 1924. S. 22—23.

¹¹⁾ Derselbe: Frequencies of tropical cyclones, especially those of minor importance. Monthly Weather Review 1930, S. 62—64. Auszug: Bull. American Met. Soc. 1930, S. 82—84.

¹²⁾ F. Zorell: Der „El-Niño“-Strom im Jahre 1925. Annalen der Hydrographie 1928, S. 166—175.

Zur Theorie der Maxwellschen Geschwindigkeitsverteilung in turbulenten Strömungen

Von Hans Ertel, Berlin

Es wird zunächst nicht die Maxwellsche Verteilung der Geschwindigkeitskomponenten angenommen, sondern ein allgemeines Verteilungsgesetz (Markoff, v. Laue), das die Möglichkeit einer stochastischen Abhängigkeit der Geschwindigkeitskomponenten zuläßt; das Maß der stochastischen Verbundenheit der Geschwindigkeitskomponenten sei der Korrelationskoeffizient r . Dann führt die Forderung, daß die Richtungsverteilungsfunktion ein Maximum habe für die Richtung der ausgeglichenen (mittleren) Geschwindigkeit zu der Bedingung $r = 0$, d. h. die Geschwindigkeitskomponenten sind in statistischem Sinne voneinander unabhängig und es gilt somit die Maxwellsche Geschwindigkeitsverteilung. Übrigens führt die Forderung, daß die Richtungsverteilung symmetrisch sei in bezug auf die mittlere Strömungsrichtung, zu dem gleichen Ergebnis.

Bei der Behandlung des Problems der atmosphärischen Turbulenz mit den Methoden der statistischen Mechanik entsteht sofort die Frage nach dem Verteilungsgesetz der Geschwindigkeiten in der Turbulenzströmung. Th. Hesselberg und E. Björkdal¹⁾ glaubten zeigen zu können, daß die Geschwindigkeitsverteilung durch das bekannte Maxwellsche Verteilungsgesetz gegeben ist, und gleichzeitig und unabhängig davon hat A. Wagner²⁾ eine ausführliche Theorie der Bögigkeit und der Häufigkeitsverteilung von Windstärke und Windrichtung entwickelt, ebenfalls auf Grundlage der Maxwellschen Verteilung. Nun lassen jedoch die bisherigen Beweise für die Maxwellsche Geschwindigkeitsverteilung insofern zu wünschen übrig, als sie stets a priori voraussetzen, daß die Geschwindig-