

BONNER GEOGRAPHISCHE ABHANDLUNGEN

Herausgegeben vom Geographischen Institut der Universität Bonn

durch Prof. Dr. Carl Troll und Fritz Bartz

Schriftleitung: Helmut Hahn

Heft 9

**W. Lauer, R. D. Schmidt,
R. Schröder und C. Troll**

Studien zur Klima- und Vegetationskunde der Tropen

1952

Reprinted with the permission of Geographisches Institut der Universität Bonn
and Verlag Ferdinand Dümmler, Bonn, Germany

JOHNSON REPRINT CORPORATION

New York

JOHNSON REPRINT COMPANY LTD

London

Studien zur Klima- und Vegetationskunde der Tropen

Bonner Geographische Abhandlungen

Herausgegeben vom Geographischen Institut

der Universität Bonn

durch Carl Troll und Fritz Bartz

Schriftleitung: Helmut Hahn

Heft 9

W. Lauer, R. D. Schmidt,

R. Schröder und C. Troll

Studien zur Klima- und Vegetationskunde der Tropen

1952

Reprinted with the permission of Geographisches Institut der Universität Bonn
and Verlag Ferdinand Schönmiller, Bonn, Germany

JOHNSON REPRINT CORPORATION JOHNSON REPRINT COMPANY LTD.
111 Fifth Avenue, New York, N.Y. 10003 Berkeley Square House, London, W. 1

Studien zur Klima- und Vegetationskunde der Tropen

Mit 1 zweifarbigen Karte und 1 Tabelle als Beilage,
4 Karten und 25 Abbildungen im Text
und 4 Tab., 5 Karten und 1 Abbildung im Anhang

Mit Beiträgen

von

Wilhelm Lauer, Rolf-Diedrich Schmidt,
Rudolf Schröder und Carl Troll

Reprinted with the permission of Geographisches Institut der Universität Bonn
and Verlag Ferdinand Schönmüller, Bonn, Germany

JOHNSON REPRINT CORPORATION JOHNSON REPRINT COMPANY LTD.
111 Fifth Avenue, New York, N.Y. 10003 Berkeley Square House, London, W. 1

Alle Rechte vorbehalten

First reprinting, 1968, Johnson Reprint Corporation

Printed in West Germany

Inhalt

	Seite
Wilhelm Lauer: Humide und aride Jahreszeiten in Afrika und Südamerika und ihre Beziehung zu den Vegetationsgürteln	15
Rolf Diedrich Schmidt: Die Niederschlagsverteilung im andinen Kolumbien	99
Rudolf Schröder: Die Verteilung der mittleren Lufttemperatur in Kolumbien	120
Carl Troll: Die Lokalwinde der Tropengebirge und ihr Einfluß auf Niederschlag und Vegetation	124

SECRET

... ..

... ..

... ..

... ..

Vorwort

Klimate und Pflanzenkleid der Erde stehen in einer engen Abhängigkeit, nicht nur im großräumigen Bild der klimatischen Vegetationszonen, sondern auch im Kleinen und Kleinsten. So wie die Pflanzendecke das Klima der bodennahen Luftschicht überall dort entscheidend mitbestimmt, wo sie nicht durch extreme Trockenis, Kälte oder Wasser- und Eisbedeckung ausgeschaltet ist, so gibt es auch kleinräumige Klimaunterschiede, die sog. Lokalklimate oder Geländeklimate, die wir flächenhaft nicht in Stationsnetzen, sondern nur mit Hilfe der Pflanzendecke und ihrer Phänologie studieren können. Es ist eine der vornehmsten Aufgaben der Geographie und Landschaftskunde, die Beziehungen zwischen Vegetation und Klima vergleichend zu verfolgen. Eine Klimatologie, die sich auf die Verarbeitung der Stationsbeobachtungen beschränkt und die Wirkungen des Klimas auf Boden, Gewässer und Pflanzenkleid nicht berücksichtigt, wird immer Stückwerk bleiben, und in Ländern mit einem weitmaschigen Stationsnetz zu grotesken Irrtümern und Mängeln führen. Umgekehrt aber muß eine Vegetationskunde, die der Klimatologie, der Agrarwissenschaft, der Forstwissenschaft und der Landeskultur dienen will, eine geographische Vegetationskunde sein.^o Sie darf Pflanzengesellschaften nicht als etwas Starres, in sich selbst Beruhendes betrachten, sondern muß den feinen standörtlichen Abwandlungen nachspüren, die ein Ausdruck des landschaftsökologischen Gefüges von Klima, Gestein, Bodenwasser, Verwitterungsboden, Pflanzendecke und Mikroklima sind.

In dem vorliegenden Band sind drei Studien zusammengefaßt, die im Geographischen Institut der Universität Bonn entstanden sind und die Klimate und Pflanzenkleid der Tropen betreffen. In der Dissertation von W. L a u e r ist ein, wie wir glauben, sehr erfolgreicher Versuch unternommen, die Anordnung der Vegetationsgürtel Afrikas und Südamerikas durch eine verbesserte Klassifizierung und Abgrenzung der Tropenklimate zu verstehen. Es war für den Unterzeichneten einer der größten Eindrücke seines Lebens, beim Studium der Vegetationsverhältnisse Südamerikas und Afrikas, der Tiefländer und der Gebirge, die in gleichen Klimaten konvergenten Lebensformen und Vegetationsformen der beiden Tropenkontinente beobachten zu können. Die Feststellung, daß es trotz ihrer geringen genetisch-pflanzengeographischen Verwandtschaft und ihrer großen floristischen Unterschiede in Afrika Dorn- und Sukkulentenwälder gibt, die im gesamten Bild der Lebensformen und im Wechsel der standörtlichen Abwandlungen der Vegetationsformen den Caatingas Südamerikas entsprechen und umgekehrt in Südamerika Vegetationsformationen, die die Miombowälder Afrikas in ihrer Physiognomie und in ihrem Lebensformenspektrum widerspiegeln, hat selbst bei tropenerfahrenen Botanikern Erstaunen her-

^o) Vgl. P a f f e n, K. H., Geographische Vegetationskunde und Pflanzensoziologie. Erdkunde, Archiv f. Wissenschaftl. Geographie, Bd. V, Bonn 1951. S. 196—203.

vorgerufen. Die physiognomischen Ähnlichkeiten gehen auf gleiche ökologische Bedingungen zurück. Es war daher eine dankbare Aufgabe, die entscheidenden Elemente der Tropenklimate für beide Kontinente im Vergleich zu den klimatischen Vegetationszonen zu studieren. *Lauers Analyse* der ombrothermischen Klimate, bezogen auf die mittleren Monatswerte von Niederschlag und Temperatur, dürfte daher ein wesentlicher Beitrag zur Geographie und Vegetationskunde der Tropen sein.

Die Arbeit von *R. D. Schmidt* behandelt die Niederschlagsverhältnisse eines äquatorialen Landes, des andinen Columbiens. Sie war ursprünglich ausgegangen von der Absicht, das umfangreiche hydrographische Material, das die Baufirma *Julius Berger Konsortium* bei ihren Arbeiten für die Regulierung des Magdalenenstromes gesammelt hatte, zu einer Darstellung des Wasserhaushalts des ganzen Stromgebietes zu verwenden. Während dieser Versuch wegen zu weit gestreuter Regenstationen auf Schwierigkeiten stieß, ergab sich die Möglichkeit, die Niederschlagsverhältnisse des ganzen andinen Landes auf Grund eines schwer zugänglichen und recht ungleichen Materials von 123 Stationen (bis 1937) einer Bearbeitung zu unterziehen und erstmals genauere Niederschlagskarten des Landes zu erhalten, die auch die Vegetationsverhältnisse berücksichtigen. Die Arbeit wird ergänzt durch eine erste kartographische Verarbeitung der mittleren Temperaturwerte Columbiens durch den beim Nationalen Kaffee-Forschungsinstitut der *Federación Nacional de Cafeteros de Colombia* in *Chinchiná* tätigen *Dr. R. Schröder*.

Die letzte Arbeit schließlich ist das Ergebnis von Forschungsreisen, die der Unterzeichnete in den Gebirgsländern der Tropen 1926—1929, 1933 bis 1934 und 1937 ausführen konnte, bei denen ein umfangreiches pflanzengeographisches Beobachtungsmaterial gesammelt wurde, das durch den Krieg gerettet werden konnte, während die botanischen Sammlungen größtenteils dem Luftkrieg zum Opfer fielen. Es stellte sich bei diesen Studien heraus, daß in gewissen, tief zertalten Gebirgen allergrößte Gegensätze der Vegetation auftreten, die auf meteorologische Gesetzmäßigkeiten zurückgehen, die durch klimatologische Messungen nicht erfaßt worden waren und die daher auch ohne klimatische Zahlenwerte gedeutet werden müssen. Aus der geographisch-topographischen Anordnung der Vegetation und gewissen meteorologischen Reisebeobachtungen geht hervor, daß sie auf Gebirgswinde und einen großräumigen Luftaustausch zwischen Tiefländern und Hochländern zurückgehen, der also erst auf dem Wege über die Vegetation erkannt wurde. Die Arbeit soll ein weiterer Beitrag des Verfassers einerseits zur Klima-, Vegetations- und Landschaftskunde der Tropen, andererseits zur Physiographie und Biogeographie der Gebirgsländer der Erde sein, dem hoffentlich bald die entsprechenden Gesamtdarstellungen folgen können.

Bonn, im Januar 1952.

C. Troll.

Inhalt:

Humide und aride Jahreszeiten in Afrika und Südamerika und ihre Beziehung zu den Vegetationsgürteln (von W. Lauer)

	Seite
Vorbemerkung	15
Einleitung	15
I. Aufgabe und Begrenzung des Themas	15
II. Die Grundlagen der Untersuchung	16
III. Methode der Untersuchung	17
<i>A. Humide und aride Jahreszeiten in Afrika und Südamerika.</i>	
I. Die Typen der ombrothermischen Klimate (Humiditätstypen) in Afrika und Südamerika	26
II. Die Zahl der humiden bzw. ariden Monate in Afrika	32
a) Der nordhemisphärisch sommerhumide Bereich	32
1. Westlicher Sudan	32
2. Anglo-Ägyptischer Sudan	33
3. Abessinisches Hochland einschl. Eritrea	33
b) Die äquatorialen Humiditätsbereiche	35
1. Der klimatische Äquator	35
2. Oberguinea-Küste	36
3. Niederguinea und Kongobecken	37
4. Ostafrika	39
c) Der südhemisphärisch sommer- und winterhumide Bereich	41
1. Südostafrikanisches Küstenland	41
2. Südostafrikanisches Binnenland	42
3. Südafrika	42
4. Madagaskar	43
d) Der winterhumide Bereich Nordafrikas	44
1. Marokko	44
2. Algerien und Tunis	45
3. Nordafrikanische Küste des östlichen Mittelmeeres und Sahara	46
e) Zusammenfassung	46
f) Zusammenfassender Vergleich der Isohygromenen mit den Nieder- schlagsverhältnissen in Afrika	48
III. Die Zahl der humiden bzw. ariden Monate in Südamerika	50
a) Das andine tropische Südamerika	50
1. Venezuela	50
2. Kolumbien	52
3. Ecuador	54
4. Peru und Bolivien	54

	Seite
b) Das außerandine tropische Südamerika	56
1. Amazonas-, Orinoco-Tiefland und Bergland von Guayana	56
2. Brasilianisches Bergland	57
3. Nordostbrasilianisches Trockengebiet u. die östlichen Randlandschaften	58
c) Die subtropischen und gemäßigten Breiten Südamerikas	59
d) Zusammenfassung	61
e) Zusammenfassender Vergleich der Isohygromenen mit den Niederschlagsverhältnissen in Südamerika	65
 <i>B. Isohygromenen und klimatische Vegetationsgürtel in Afrika und Südamerika</i>	
I. Grundlegende Vorbemerkungen über die Beziehungen zwischen Klima und Vegetationstyp in den Tropen und Subtropen	67
II. Zusammenfassender Vergleich der Isohygromenen mit den tropischen und subtropischen Vegetationsgürteln in Afrika und Südamerika (inkl. der gemäßigten Breiten Südamerikas)	70
a) Isohygromenen und Vegetationsformationen im tropischen Afrika und Südamerika : :	71
1. Humide Monate und immergrüner tropischer Regenwald	71
2. Humide Monate und Feuchtsavanne	76
3. Humide Monate und Trockensavanne	78
4. Humide Monate und Dornsavanne	79
5. Humide Monate und Halbwüste	80
6. Humide Monate und Wüste	83
b) Isohygromenen und Vegetationsformationen im subtropischen Afrika und Südamerika (inkl. der gemäßigten Breiten Südamerikas)	84
c) Isohygromenen und Vegetationsformationen der tropischen Hochgebirge	84
<i>Schluß</i>	85
<i>Literaturverzeichnis</i>	86
<i>Quellennachweis</i>	97
 Die Niederschlagsverteilung im andinen Kolumbien (von R. D. Schmidt)	
I. Allgemeine Übersicht	99
II. Das nördliche Passatgebiet	103
III. Das Gebiet der östlichen Tiefländer	105
IV. Die Kordillere von Bogotá	106
V. Das Becken des oberen Magdalena	108
VI. Das Bergland von Medellín	109
VII. Das Becken des oberen Cauca	110
VIII. Das Bergland von Popayán und Pasto	111
IX. Das Pazifische Gebiet	111
X. Niederschlag und Vegetation	113
XI. Niederschlag und Relief	115
<i>Zu den Karten:</i>	116
<i>Literatur</i>	118

Verzeichnis der Karten und Abbildungen

Zum Aufsatz von W. Lauer:

Tafel 1 Karte: Die Zahl der humiden bzw. ariden Monate (Isohygromenen) in Südamerika und Afrika	Beilage
Karte: Typen der ombrothermischen Klimate in Südamerika u. Afrika	Beilage
Karte 1: Humide bzw. aride Monate und die klimatischen Vegetationstypen in Afrika	Seite 72
Karte 2: Humide bzw. aride Monate und die klimatischen Vegetationstypen in Südamerika	74
Abb. 1: Die klimatischen Bereiche der Erde (nach C. Troll)	18
Abb. 2: Fig. 1: Die klimatischen Trockengrenzindizes nach verschiedenen Autoren	22
Abb. 3: Fig. 2: Humiditätsgang an der Station Eala	29
Fig. 3: Humiditätsgang an der Station Muanza	29
Fig. 4: Humiditätsgang an der Station Lome	29
Fig. 5: Humiditätsgang an der Station Wau	29
Fig. 6: Humiditätsgang an der Station Constantine	29
Fig. 7: Humiditätsgang an der Station Atbara	29
Abb. 4: Fig. 8: Humiditätsgang an der Station Bogotá	30
Fig. 9: Humiditätsgang an der Station Tunja	30
Fig. 10: Humiditätsgang an der Station Barquisimeto	30
Fig. 11: Humiditätsgang an der Station Barcelona	30
Fig. 12: Humiditätsgang an der Station Recife	30
Fig. 13: Humiditätsgang an der Station Buenos Aires	30
Fig. 14: Humiditätsgang an der Station Lima	30
Fig. 15: Humiditätsgang an der Station Santiago	30
Abb. 5: Die Typen der ombrothermischen Klimate am Ostabfall des abessinischen Hochlandes	34
Abb. 6: Fig. 16: Humiditätsgang an den Stationen Sansane Mangu, Nuatjä und Lome	37
Fig 17: Humiditätsgang an den Stationen Debundscha und Lome	37
Abb. 7: Fig. 18: Humiditätsdiagramm der Stationen Sokoto und Salisbury	48
Abb. 8: Fig. 19: Humiditätsdiagramm der Stationen Isla de Huafo und Colonia Sarmiento	62
Abb. 9: Fig. 20: Humiditätsdiagramm der Stationen La Guayra, Caracas, Bogotá, Buenos Aires und Santiago	63
Abb. 10: Die Zahl der humiden bzw. ariden Monate und die jährliche Niederschlagsmenge an der Urwald-Savannengrenze	76

	Seite
Abb. 11: Profil 1: Humide Monate und Vegetationscharakter im westlichen Sudan	81
Profil 2: Humide Monate und Vegetationscharakter in SE-Afrika	81
Profil 3: Humide Monate und Vegetationscharakter in Südafrika	81
Abb. 12: Profil 4: Humide Monate und Vegetationscharakter in den kolumbianischen Anden	82
Profil 5: Humide Monate und Vegetationscharakter in den venezolanischen Anden	82
Profil 6: Humide Monate und Vegetationscharakter in den ecuatorianischen Anden	82
Profil 7: Humide Monate und Vegetationscharakter in den bolivianischen Anden (I)	82
Profil 8: Humide Monate und Vegetationscharakter in den bolivianischen Anden (II)	82
Profil 9: Humide Monate und Vegetationscharakter zwischen Gran Chaco und Atlantik	82
Tab. I: Die klimatischen Vegetationsgürtel der Tropen nach verschiedenen Autoren	Anhang
Tab. II: Die Zahl der humiden Monate und die tropischen Vegetationsgürtel	Anhang
Tab. III: Die Zahl der humiden Monate und die subtropischen Vegetationsgürtel	Anhang
Tab. IV: Horizontale und vertikale Klima- und Vegetationsgürtel in den tropischen Anden	Anhang

Zum Aufsatz von R. D. Schmidt:

Karte 1: Jahresniederschlagsmengen im andinen Kolumbien	Anhang
Karte 2: Februar-Niederschlagsmengen im andinen Kolumbien	Anhang
Karte 3: Mai-Niederschlagsmengen im andinen Kolumbien	Anhang
Karte 4: Juli-Niederschlagsmengen im andinen Kolumbien	Anhang
Karte 5: Oktober-Niederschlagsmengen im andinen Kolumbien	Anhang
Karte 6: Der Jahresgang der Niederschläge im andinen Kolumbien	Anhang
Abb. 1: Gebiete gleicher jahreszeitlicher Niederschlagsverteilung im andinen Kolumbien	
Tab. I: Der Jahresgang der Niederschläge in Kolumbien	Beilage

Zum Aufsatz R. Schröder:

Karte 1: Die mittlere jährliche Temperatur in Kolumbien.	Anhang
--	--------

Zum Aufsatz C. Troll:

	Seite
Abb. 1: Die zentralen Anden von Bolivien, Südperu und Nordchile und ihre klimatologische Gliederung	128
Abb. 2: Die klimatisch-landschaftliche Gliederung der nordostbolivischen Anden	Anhang
Abb. 3: Der Vegetationsaufbau im Durchbruchstal des La Paz vom Altiplano von La Paz durch die Cordillera Real und die Yungas-Region bis zum tropischen Regenwald	136
Abb. 4: Modell des Talwindes und Bergwindes im Querschnitt des Tales	140
Abb. 5: Die orographisch-klimatische Landschaftsabstufung in Westkolumbien zwischen Buenaventura und dem Valle de Cauca	147
Abb. 6: Die Kaphalbinsel und die Lage der feuchten Nebelgehölze an den Südosthängen der hohen Berge	153

	Seite
Abb. 7: Die Nordgrenze der immerfeuchten temperierten Gehölze im westlichen Kapland	155
Abb. 8: Landschaftsausschnitt und Landschaftsprofil aus dem mittleren Natal beiderseits des Tugela-Flusses und des Tugela-Durchbruchtales . .	159
Abb. 9: Die Große Randstufe Ostafrikas Profil längs des Tales von Kinjassungwe-Mukundokwa	162
Abb. 10: Karte des jährlichen Niederschlags im Usambara- und Pare-Gebirge und der Trockeninsel von Kihuiro	165
Abb. 11: Der jährliche Gang des Niederschlags in Kihuiro im Vergleich mit einigen Nachbarstationen	166
Abb. 12: Die Windverhältnisse im Roten Meer-Gebiet und der umgebenden Hochländer	168
Abb. 13: Klima- und Vegetationsabstufung am Abfall des eritreischen Altopiano gegen das Rote Meer bei Asmara	175

Humide und aride Jahreszeiten in Afrika und Südamerika und ihre Beziehung zu den Vegetationsgürteln

Von W. Lauer

Mit 1 zweifarb. Karte im Anhang, 2 Karten im Text, 12 Abb. u. 4 Tab. i. Anhang

Vorbemerkung

Die Durchführung vorliegender Untersuchung, bei der vor allem meteorologisches Beobachtungsmaterial benötigt wurde, war nur möglich mit Unterstützung des Meteorologischen Amtes für Nordwestdeutschland, Hamburg und des Deutschen Wetterdienstes der U. S. - Zone in Bad Kissingen. Der Verfasser dankt daher allen, die in liebenswürdiger Hilfsbereitschaft zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben.

Besonderer Dank gebührt Herrn Prof. Dr. C. Troll für die Anregung zu dieser 1950 als Dissertation angefertigten Arbeit und die sehr wertvollen Hinweise, die er als Kenner weiter Gebiete beider Erdteile zu geben vermochte. Darüber hinaus waren viele neuere Arbeiten dem Verfasser nur durch seine Privatbibliothek zugänglich. Schließlich ist auch die Drucklegung dieser Untersuchung in den Bonner Geographischen Abhandlungen ihm zu verdanken. Das Manuskript war bis auf wenige Änderungen im Sommer 1950 abgeschlossen.

Einleitung

I. Aufgabe und Begrenzung des Themas.

Vorliegende Untersuchung geht von der Tatsache aus, daß die vegetationskundliche Großgliederung der Erde in der Hauptsache durch das Klima bedingt ist. Zu einer vergleichenden Betrachtung eignen sich die beiden großen Tropenkontinente Afrika und Südamerika wegen ihrer Lage und Konfiguration, die ähnliche klimatische Voraussetzungen schaffen, besonders gut.

Für die Gliederung von Klima, Vegetation und Landschaft in den Tropen sind, wenn man von den Höhenstufen absieht, die hygrischen Verhältnisse ausschlaggebend, da die Wärme bei den geringen jährlichen Schwankungen der Temperatur ständig ausreichend zur Verfügung steht. Bisher hat man daher zur Abgrenzung der Vegetationsgürtel in den Tropen im allgemeinen die Niederschlagsmengen oder die Dauer der Regenzeiten herangezogen. Eine direkte Abhängigkeit und damit eine Abgrenzung der klimatischen Vegetationsgürtel allein durch die Niederschlagsmenge hat sich aber als unrichtig und unzureichend erwiesen, da die Temperatur als wesentlicher Faktor der Verdunstung den für die Vegetation wirksamen Niederschlag weitgehend reguliert.

Es besteht daher schon lange der Wunsch, eine bessere Beziehung zwischen den klimatischen Gegebenheiten und der vegetationskundlichen Landschaftsgliederung zu finden. Die Dauer der humiden bzw. ariden Zeit aber scheint in den Tropen und Subtropen ein brauchbares Kriterium zur klimatischen Abgrenzung der großen vegetationskundlichen Landschaftsein-

heiten abzugeben, da in den klimatischen Begriffen der Humidität bzw. Aridität neben der Niederschlagsmenge auch die von der Temperatur abhängige Verdunstung enthalten ist.

Abgesehen von der Bedeutung für die großräumige, vegetationskundliche Landschaftsgliederung der beiden Kontinente Afrika und Südamerika, sind die in vorliegender Arbeit zur Darstellung gebrachten Linien gleicher humider Monate (Isohygromenen) aber auch Klimagrenzen. Die durch die Isohygromenen abgegrenzte Dauer arider und humider Jahreszeiten kann auch für die Typisierung des Klimas herangezogen werden, wie dies bereits H. v. Wissmann 1939 [84] hervorhebt und 1941 schließlich von T. Wang [83] in seiner Arbeit über die humiden, ariden und nivalen Jahreszeiten in China herausgestellt wurde. N. Creutzburg hat in Pet. Mitt. 1950 [4] eine Karte der Klimatypen der Erde vorgelegt, in der er die Dauer der humiden Zeit als Kriterium für die Typisierung heranzieht. Die Karte hat freilich nur den Wert einer groben Übersicht, zeigt aber immerhin, daß für eine Klimaklassifikation die Dauer der humiden bzw. ariden Zeit von ausschlaggebender Bedeutung zu sein scheint.

Vorliegende Untersuchung bringt die Zahl der humiden bzw. ariden Monate für die beiden vorwiegend tropischen Kontinente Afrika und Südamerika auf Grund umfangreichen Stationsmaterials zur Darstellung, die den Wert dieses Klimakriteriums für eine Klimatypisierung der Tropen und periodisch feuchten Subtropen sehr deutlich zeigt und erhärtet.

Die Arbeit gliedert sich gemäß der Fragestellung in zwei Teile. Der erste, klimatologische Teil gipfelt in Isohygromenenkarten und Karten der ombrothermischen Klimatypen in Afrika und Südamerika (Taf. 1). Der zweite, vergleichend geographische Teil, der hier nur gekürzt wiedergegeben werden soll, zeigt durch Vergleich der Isohygromenen mit den Vegetationskarten beider Erdteile die Beziehungen zwischen der Dauer des humiden bzw. ariden Klimazustandes und den vegetationskundlichen Landschaftsgürteln auf. Es wurden in zwei Kärtchen und ergänzenden Profilen, sowie in tabellarischen Aufstellungen die Ergebnisse des Vergleichs zusammengefaßt (vgl. Karten 1 u. 2 S. 72, 74, Anhang Tab. II bis IV, Abb. 11 u. 12).

II. Die Grundlagen der Untersuchung.

Die Grundlage einer Untersuchung dieser Art muß ein reichhaltiges, möglichst homogenes und damit vergleichbares klimatologisches Beobachtungsmaterial sein. Das Fehlen einer dieser Voraussetzungen wird sich als ein Mangel in der Kartendarstellung erweisen. Die Idealforderung nach möglichst umfangreichem, einheitlichem und zuverlässigem Beobachtungsmaterial wird allerdings in Afrika und Südamerika nur in wenigen meteorologisch gut erfaßten Gebieten erreicht.

Die meist beobachteten, da leicht meßbaren, klimatologischen Elemente sind Niederschlag und Temperatur, die zugleich als Wasser und Wärme in der organischen wie in der anorganischen Natur eine Vorrangstellung einnehmen. Eine Untersuchung, die besonderen Wert auf Umfang des Beobachtungsmaterials legt, wird ohnehin nur auf Niederschlags- und Temperaturmessungen zurückgreifen können, da die anderen klimatischen Elemente, wie z. B. relative Feuchte, Regendichte, Anzahl der Regentage usw., Elemente, die gerade für die vorliegende Untersuchung von erhöhter Be-

deutung gewesen wären, nur in klimatologisch gut erfaßten Gebieten, in anderen jedoch nur gelegentlich beobachtet sind. Durch die Verwendung von Monatsmitteln der Temperatur und des Niederschlags an Stelle der üblichen Jahresmittel konnte aber die Genauigkeit wesentlich gesteigert werden. Aus Raumangel muß auf einen ausführlichen Überblick über das der Arbeit zu Grunde liegende Material verzichtet werden. Das gesamte Stationsmaterial, das zum größten Teil Beobachtungsreihen bis zum Ende des 3. Jahrzehnts aufweist, entstammte Originalbeobachtungen der einzelnen Länder und Kolonialgebiete, allgemeinen Klimadarstellungen und Tabellenwerken, zum großen Teil aber auch, besonders für Afrika, Originaltabellen, die vom Meteorologischen Amt (früher Deutsche Seewarte) Hamburg dankenswerterweise zur Verfügung gestellt wurden¹⁾.

Die gesamten klimatologischen Daten bieten keineswegs ein homogenes Bild. Es mußte an vielen Stellen auf einheitliche Perioden der benötigten Klimawerte verzichtet werden, um nicht wichtige, einmalige, leider oft sehr kurzfristige Beobachtungen unberücksichtigt lassen zu müssen. Eine Prüfung des Materials, soweit es nicht schon auf geprüften, zusammenfassenden Veröffentlichungen beruhte, ist vorgenommen worden. Reduktionen in größerem Umfang sind bei der Großräumigkeit der Untersuchungsobjekte und der mitunter allzu großen Ungleichförmigkeit des Materials und der Beobachtungsmethoden kaum möglich gewesen. Sie würden andererseits auch nur Genauigkeit vortäuschen, da viel größere Fehler bei der Beobachtung und Aufzeichnung selbst entstehen, als durch Reduktionen beseitigt werden können. Es wurde deshalb auf eine möglichst große Zahl von Stationen Wert gelegt, sofern nicht sogar eine Überfülle von Beobachtungswerten vorlag, wie etwa in Südafrika oder in der Provinz Buenos Aires. In solchen Fällen wurde eine Anzahl gleichmäßig verteilter Stationen ausgewählt, die anderen nach kritischer Durchsicht nur dann benutzt, wenn sie für das Kartenbild besonders wesentlich waren. Im ganzen sind so für Afrika etwa 2500, für Südamerika etwa 1500 Stationsbeobachtungen für die Kartendarstellung herangezogen worden²⁾. An den genannten Verdichtungspunkten in Südafrika und Argentinien sind weitere 2000 bis 3000 zur genaueren Linienführung verwandt worden.

III. Methode der Untersuchung.

Die Untersuchung geht von der Unterscheidung trockener und feuchter Klimabereiche aus (W o e i k o f 1884), einer Einteilung, die A. P e n c k [59] zu einer Aufgliederung in drei Klimabereiche erweiterte, indem er die Klimate des ewigen Schnees als eigenen Klimabereich aussonderte. Er unterschied dann in seiner Klimaklassifikation von 1910 je einen a r i d e n, h u m i d e n und n i v a l e n Klimabereich. Sehr anschaulich ist diese Einteilung von C. T r o l l in einem Klimadreieck diagrammatisch festgehalten, das von ihm mit weiteren Detaillierungen und Verbesserungen vor allem bzgl. der subnivalen Klimate und periglazialen Klimaerscheinungen in zwei Aufsätzen in der „Erdkunde“ [75, 77] veröffentlicht ist (vgl. Abb. 1). Die drei Klimabereiche werden durch Grenzen voneinander geschieden, die als Trockengrenze zwischen dem ariden und humiden oder nivalen einerseits

¹⁾ Vgl. hierzu das Quellenverzeichnis am Schluß der Arbeit.

²⁾ Das Stationsnetz ist auf Taf. 1 dargestellt.

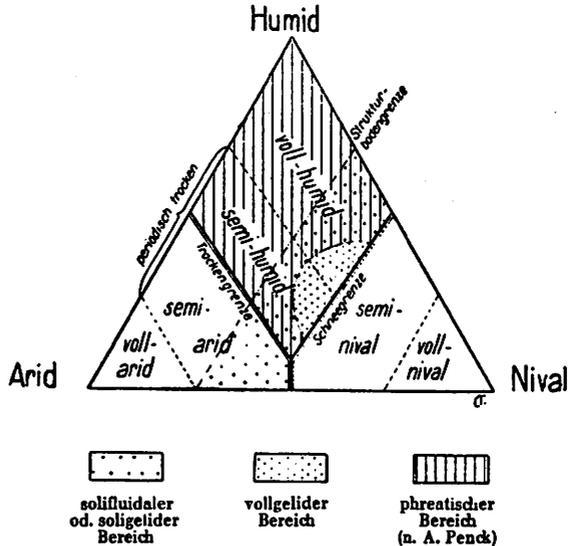


Abb. 1: Die klimatischen Bereiche der Erde (n. C. Troll).

und als Schneegrenze zwischen dem nivalen und humiden oder ariden Klimabereich andererseits im wissenschaftlichen Sprachgebrauch bekannt sind. Der Bereich, in dem Trockengrenze und Schneegrenze miteinander identisch sind, wo also das aride Reich sofort in das nivale übergeht, ist auf der Erde außerordentlich beschränkt und kommt im Untersuchungsgebiet nur in der Puna de Atacama vor.

A. Penck hat seine drei Klimabereiche durch sehr einfache Beziehungen zwischen Niederschlag und Verdunstung einerseits und Schneefall und Ablation andererseits definiert. Als humid bezeichnete er ein Klima, in dem die Jahressumme des Niederschlags größer ist als die jährliche Verdunstung ($N > V$), als arid ein solches Klima, in dem die Jahresverdunstung die Jahresmenge des Niederschlags überwiegt ($N < V$). Die Trockengrenze ist durch das Gleichgewicht zwischen Niederschlag und Verdunstung festgelegt ($N = V$). Im nivalen Bereich fällt mehr schneeiger Niederschlag, als durch Ablation, Schmelzung und Verdunstung aufgezehrt werden kann.

Bietet die Festlegung der Schneegrenze in der Natur keine allzu großen Schwierigkeiten, so ist die der Trockengrenze um so schwieriger, als sie nicht wie jene in der Natur sichtbar ist. Bei der theoretischen Bestimmung nach der einfachen Penck'schen Beziehungsformel ist vor allem die Verdunstung kaum exakt faßbar, da es sich um die in der Natur mögliche Verdunstung handelt, die nicht nur rein klimatische Komponenten zur Bedingung hat³⁾. Im Verdunstungsmesser messen wir die klimatisch mögliche Verdunstung, die vom jeweiligen Zustand der Luft abhängig ist, in erster Linie von der Lufttemperatur, bei deren Ansteigen auch die Verdunstung sich erhöht, dann aber auch vom Sättigungsdefizit oder der relativen Feuchte, sowie von der Temperatur der verdunstenden Oberfläche, welche wiederum eine Funktion der Bestrahlung

³⁾ Vgl. hierzu Jaeger [163], S. 12 u. 13; Conrad [3].

ist, schließlich aber auch vom Wind und vom Luftdruck und damit aber auch von der Meereshöhe (Jaeger 1936). Zu diesen rein klimatischen Faktoren, die die klimatisch mögliche Verdunstung bedingen, tritt noch die Beschaffenheit der verdunstenden Oberfläche als äußerst wichtiger Faktor hinzu. Es ist nicht gleich, ob Wasser oder Vegetationsbedeckung verschiedener Art oder vegetationsloses Gebiet mit wechselnden Bodenarten die verdunstende Oberfläche bilden. Diese in der Natur mögliche Verdunstung wird in Verdunstungsmessern nicht gemessen. Sie aber kommt für die Pencksche Trockengrenze in Frage (Jaeger 1936). Außer diesen beiden Arten der Verdunstung (klimatische und in der Natur mögliche) spielt die tatsächliche Verdunstung für den ariden und humiden Zustand eines Ortes eine Rolle. Sie ist von der möglichen Verdunstung abhängig, aber vor allem von dem Vorhandensein einer Wassermenge, die verdunsten kann. Sie bleibt hinter der möglichen Verdunstung zurück und kann nie den gefallenen Niederschlag übersteigen, sofern ihr nicht aus anderen Gründen Wasser zur Verfügung steht (etwa fremdbürtiges Grundwasser z. B. in der Wüste, wo die tatsächliche Verdunstung fehlt, die mögliche jedoch Höchstwerte erreicht (Jaeger)). Auf weitere Einzelheiten über das Verdunstungsproblem im Rahmen vorliegender Arbeit einzugehen, kann nicht meine Aufgabe sein, da Verdunstungsmessungen nur an wenigen Stellen der Untersuchungsgebiete vorliegen⁴⁾. Die Verdunstungsgröße ist jedenfalls ein schwer zu bestimmender Faktor, der das Feststellen des ariden oder humiden Zustandes mit Hilfe von Annäherungsformeln sehr erschwert.

Einen sehr großen Einfluß auf die Verdunstung nimmt die Temperatur namentlich in der Weise, daß sich mit ihr auch die Verdunstung in einem bestimmten Verhältnis ändert. Man kann auf empirischem Wege eine gewisse rechnerische Beziehung zwischen beiden ermitteln, die es gestattet, die Verdunstung durch die Temperatur in einer für vorliegende Untersuchung geeigneten Weise zu ersetzen. Man wird freilich bei diesem Vergleich die Fehlerquellen, die durch die anderen oben genannten klimatischen Elemente entstehen, nicht völlig ausschalten können. Da aber die für Übersichtsuntersuchungen notwendige Zahl an Verdunstungsmessungen fehlt, wurde die Temperatur vielfach als Vertreterin der Verdunstung in geeignete Beziehung zum Niederschlag gebracht. Eine solche Beziehung zwischen Temperatur und Niederschlag muß aber, um praktisch verwertbar zu sein, in sehr einfacher Form ausgedrückt werden und dabei der Lage der Dinge in der Natur noch weitgehend entsprechen.

Von der Grundtatsache ausgehend, daß bei steigender Temperatur die Verdunstung zunimmt, hat der Bodenkundler R. Lang [46, 47] den sog. „Regenfaktor“ aufgestellt, indem er den Quotienten zwischen Jahresniederschlag (in mm) und Jahresmitteltemperatur (in °C) bildet.

$$I = \frac{N}{T}$$

Die Regenmenge wird also in diesem Faktor nach der Verdunstungsmöglichkeit bei der jeweiligen Temperatur korrigiert. Der Langsche Regenfaktor, der in der Hauptsache in der Bodenkunde praktische Verwendung

⁴⁾ Zur weiteren Orientierung über die Verdunstung kann auf den Abschnitt im Handbuch der Klimatologie Teil I, Abschn. B, S. 353 ff. mit der dort angegebenen Spezialliteratur verwiesen werden.

fand, wurde von P. Hirth [2] in seiner Isonotidenkarte für die ganze Erde dargestellt, die zugleich aber die Unbrauchbarkeit des Quotienten für die Klimatologie erwiesen hat⁵⁾. Der Temperatur ist in der Langschen Formel eine zu große Wirkung auf die Verdunstung beigemessen, mit anderen Worten bei geringem Anstieg der Temperatur wird eine zu große Erhöhung der Verdunstung angenommen (vgl. Abb. 2, Fig. 1). Im Jahre 1926 hat dann E. de Martonne [49, 50] eine neue Formel aufgestellt, die eine Verbesserung des Regenfaktors von Lang darstellt, indem er den Einfluß der Temperatur herabminderte und das Rechnen mit negativen Temperaturen dadurch vermied, daß er im Nenner den Wert plus 10 anbrachte.

Sein "Indice d'aridité" lautet:

$$i = \frac{N}{T + 10} \quad \begin{array}{l} N \text{ in mm} \\ T \text{ in } ^\circ\text{C} \end{array}$$

Der Index $i = 20$ entspricht etwa der Penckschen Trockengrenze (vgl. Abb. 2, Fig. 1). Mit Recht hat die sich durch große Einfachheit auszeichnende Formel von de Martonne bald einen Kritiker gefunden, der diese als unzureichend für eine Klimaeinteilung der ganzen Erde ansah. E. Biell [1] hat 1927 geltend gemacht und durch Beispiele erwiesen, daß man unbedingt die Regendichte berücksichtigen müsse (Regendichte = Regensumme eines Zeitabschnittes geteilt durch die Anzahl der Niederschlagstage). In der Tat hat vor allem die Anzahl der Niederschlagstage in einem bestimmten Zeitabschnitt eine sehr große Bedeutung für den Wasserhaushalt einer Landschaft, vor allem für die Verdunstung, für deren Größe es gewiß nicht gleichgültig ist, ob eine bestimmte Menge Niederschlag in wenigen Tagen fällt oder sich auf einen längeren Zeitabschnitt verteilt. E. Reichel [61] hat den de Martonne'schen Quotienten nach den Bielschen Überlegungen verbessert und folgende Formel für eine Untersuchung für Deutschland benutzt:

$$i = \frac{N \cdot R}{T + 10} \quad R = \frac{\text{Anzahl der Niederschlagstage im betr. Zeitraum.}}{}$$

In diesem Faktor nimmt der Index durch Multiplikation mit der Anzahl der Niederschlagstage zu. 1935 hat schließlich de Martonne [54] seine Formel noch weiter verbessert, indem er die Zahl der Niederschlagstage am Orte (R) und die mittlere Zahl der Niederschlagstage der umliegenden Orte (R') als Quotient seiner ursprünglichen Formel einfügt. Seine verbesserte Formel lautet:

$$i = \frac{N \cdot R}{(T + 10) \cdot R'}$$

Es muß aber gleich hier gesagt werden, daß für vorliegende Untersuchung die verbesserten Formeln von Reichel und de Martonne keine Verwendung finden können, da in Afrika und Südamerika allenfalls an Stationen I. Ordnung die Niederschlagsdichte aufgezeichnet ist. Sie ist aber an solchen, die für die flächenhafte Darstellung besonders wertvoll sind, unbekannt, vor allem in Gebieten, in denen es ohnehin nur wenige gibt. Es wird daher von vornherein von einer besonderen Erwähnung der vielen, komplizierteren in der Literatur aufgestellten Formeln hygromischer Indizes, die für vorliegende Untersuchung praktisch nicht in Frage kommen können, Abstand genommen, wie etwa die von Rosen-

⁵⁾ Szává-Kováts [66].

kranz, Szymkiewicz, Transeau, Emberger, Meyer u. a. m.⁶⁾, die für Detailuntersuchungen in bestimmten meteorologisch gut erfaßten Gebieten in einzelnen brauchbar sein mögen. Es konnte auch nicht die Niederschlagsdichte bei den Stationen für die sie überhaupt mitgeteilt ist, in die benutzte Formel eingefügt werden, da sonst eine Vergleichbarkeit ausgeschlossen wäre. Abweichungen, die im Laufe der Untersuchung aus der Niederschlagsdichte resultieren, sind im Text eigens hervorgehoben.

Schließlich hat auch W. Köppen bei seinen wiederholten Klimaklassifikationsversuchen und Ergänzungen dazu [38, 39, 40, 41, 43] Formeln zur Abgrenzung von feuchten und trockenen Klimaten entwickelt, die nicht alle erwähnenswert sind, da die nachfolgenden die vorhergehenden jeweils verbessern und daher nur die 1928 vorgeschlagene, 1931 und 1936 mitgeteilte Formel von praktischer Bedeutung ist, wie er selber sagt [42, 43, 44]. Köppen grenzt dort die B- gegen die A- und C-Klimate durch folgende Formeln, die er bereits 1922 [41] als Trockengrenze bezeichnet, ab:

$$N = 2(T + 7).$$

Entspricht der Index 20 der de Martonne'schen Formel etwa der Penckschen Trockengrenze, wie man durch Vergleich der von de Martonne entworfenen Karten [51, 52, 53, 300] mit den Trockengrenzuntersuchungen im Gelände feststellen kann⁷⁾, so entspricht auch etwa die AC—B-Klimagrenze von Köppen der Penckschen Trockengrenze wie der Vergleich der Köppenschen mit der de Martonneschen Formel ergibt, die ja nur um den Wert 3 im Nenner differiert, wenn man Köppens Index 2 verzehnfacht, wie er selbst vorschlägt [43], S. 21. Die Köppensche Formel in der Schreibweise der de Martonne'schen sieht dann folgendermaßen aus:

$$20 = \frac{N}{T+7}$$

Die de Martonne'sche Formel für den Index 20 (etwa Pencksche Trockengrenze) lautet:

$$20 = \frac{N}{T+10}$$

Die graphische Darstellung (Abb. 2, Fig. 1) zeigt die geringe Abweichung der beiden Formeln.

In Amerika sind in der Folgezeit die genannten Formeln erweitert worden. C. W. Thornthwaite hat einen sog. P/E (Precipitation effectiveness) Index (Niederschlagswirksamkeit-Index) aufgestellt, bei dem ebenfalls die Verdunstung durch die Temperatur nach einem außerordentlich gründlichen, auf zahlreichen vergleichenden Stationsmessungen beruhenden Verfahren ersetzt ist [68, 69]. Er bestimmt den Jahresindex durch Ausrechnung der einzelnen Monate nach der Formel:

$$i = 11,5 \left(\frac{P}{t+10} \right)^{\frac{10}{9}}$$

und erhält die Jahresformel:

$$I = \sum_{n=1}^{12} 115 \left(\frac{P}{t+10} \right)^{\frac{10}{9}} \cdot n$$

⁶⁾ Vgl. hierzu Wilhelmy [86].

⁷⁾ Sorge [331]; Pittelkow [60]; Jaeger [161].

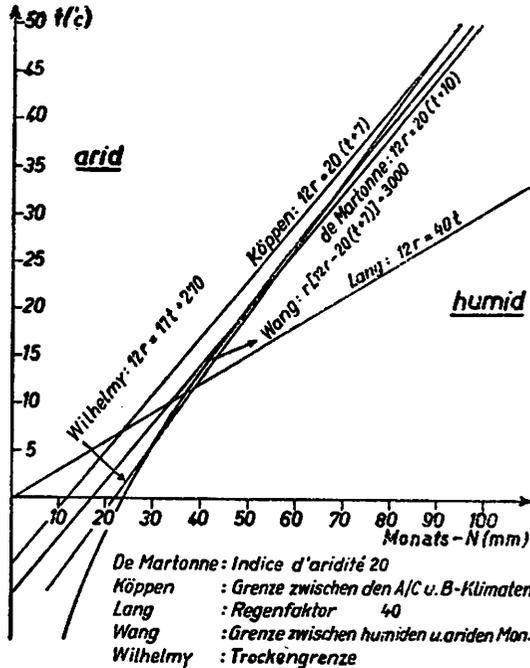


Abb. 2: Fig. 1 Die klimatischen Trockengrenzindizes nach verschiedenen Autoren

Leider sind der Regen p in engl. Fuß und die Temperatur t in Fahrenheit gemessen, wodurch das Rechnen mit dieser ohnehin schwierigen Formel erschwert wird. Sein Index 32 entspricht etwa der Penck'schen Trockengrenze. Ein Kartenvergleich ergibt eine gute Übereinstimmung der Thornthwaite'schen Trockengrenze mit der de Martonne'schen und eine geringe Verschiebung nach der feuchten Seite hin gegenüber der Köppen'schen. Schließlich ist aber 1941 von T. Wang die Köppen'sche Formel nach sehr fruchtbaren Gesichtspunkten erweitert worden [83]. Wang sieht diese Formel insofern als unbrauchbar an, als bei Temperaturen unter minus 7 Grad nur humider Zustand auftreten kann, also keine Verdunstung mehr stattfindet. Die tatsächliche Aufnahmefähigkeit der Luft für Wasserdampf ergibt aber eine Kurve, die sich bei sehr niedrigen Temperaturen der Ordinate asymptotisch nähert. Er entwickelt nach diesen Überlegungen als Trockengrenzformel ebenfalls eine Hyperbel, die bei niedrigen Temperaturen noch einer geringen Verdunstung Raum läßt, d. h. aber, daß bei Temperaturen unter minus 7 Grad C noch arider Zustand möglich sein kann. Seine Formel, die gleich durch Multiplikation mit 12 für die Monatsmittelwerte berechnet ist, lautet:

$$n [12n - 20(t + 7)] = 3000,$$

wobei n der Monatsniederschlag in mm, t die Temperatur in °C und 3000 eine empirisch gefundene Konstante ist. Ein graphischer Vergleich mit der de Martonne'schen Formel ergibt eine Übereinstimmung bei tropischen Temperaturen $> 18^\circ \text{C}$ (vgl. Abb. 2, Fig. 1). Bei niedrigeren Temperaturen weicht sie nach der feuchten Seite hin ab. Für eine Übersichtsdarstellung

ist die Wangsche Formel wegen der schwierigen rechnerischen Handhabung wenig brauchbar. (Vgl. hierzu auch H. Lautensach's Kritik an dem „Indice d'aridité“ von de Martonne im Geogr. Anz. 1932.)

A. Penck hat bei seiner Einteilung in die genannten drei Klimabereiche den mittleren Jahreszustand des Klimas zur Grundlage seiner Klassifikation gemacht. Ebenso beziehen sich die meisten Formeln auch auf Jahresmittelwerte. Größere Genauigkeit aber kann erzielt werden, wenn man die genannten Formeln für die Monatsmittelwerte anwendet, wie dies von Köppen und de Martonne bereits vorgeschlagen wurde und von Thornthwaite und Wang in ihren Darstellungen schon Anwendung gefunden hat. Köppen hatte zunächst vorgeschlagen [40, 41, 43], die Berücksichtigung der Jahreszeiten dadurch in Erscheinung treten zu lassen, daß man eigene Formeln für Gebiete mit Winter- und Sommerregen einführt, da die Wirksamkeit des Niederschlags im Winter größer ist als im Sommer [43]. Die beiden Zusatzformeln erübrigen sich aber, wenn man sich die Mühe macht, die Einzelmonate auszuwerten. Um die Vergleichbarkeit mit der Jahresformel aber noch aufrecht zu erhalten, multipliziert man den Quotienten mit 12. Die Formeln von de Martonne (für Index 20) und Köppen sehen dann folgendermaßen aus:

$$20 = \frac{12n}{t + 10} \qquad 20 = \frac{12n}{t + 7}$$

Durch die Verwendung von Monatsmittelwerten wird aber

1. außer dem mittleren Jahreszustand des Klimas auch der Gang und die Dauer eines bestimmten (ariden oder humiden) Klimazustandes erfaßt und damit auch die Berücksichtigung der Jahreszeit erreicht,
2. der mittlere Jahreszustand im Sinne Pencks genauer bestimmt.

Im folgenden wird nun gezeigt, wieviele Monate humider oder arider Zustand innerhalb des Jahres herrschen, in welcher Jahreszeit die Verdunstung den Niederschlag oder der Niederschlag die Verdunstung überwiegt. Es erhebt sich freilich hier die Frage, ob man überhaupt mit Hilfe zweier Klimawerte die Humidität oder Aridität eines Ortes feststellen kann. Man kann dies wohl rein klimatisch. Eine genaue Feststellung der Humidität oder Aridität bestimmter Gebiete oder auch der Grenze zwischen beiden, der Trockengrenze, muß von der Beobachtung und wissenschaftlichen Untersuchung an Ort und Stelle ausgehen und kann sich nicht an zwei Klimawerte halten. Es muß ein mannigfaches Ursachengeflecht zwischen klimatischen, bodenkundlichen, hydrologischen und vegetationskundlichen Komponenten entschleiert werden, um zu einer ausreichend genauen Festlegung humider oder arider Gebiete zu gelangen⁹⁾. So ist es nicht unbekannt und oft beschrieben, daß sich aride Gebiete vielfach durch Fehlen landeigener Flüsse auszeichnen, die landeigenen aber nur periodisch oder sogar episodisch fließen [118]. Die seenerfüllten Hohlformen haben keinen Abfluß, die Gewässer sind versalzt, das Wasser bewegt sich im Boden vorwiegend aufwärts und erzeugt Anreicherungsböden mit harten Krusten. Das aride Klima schafft eigene Formen, Hohlformen, Pfannen, Salzseen, Trockentäler usw. Große Schuttmassen, die wegen mangelnden Wassers nicht abtransportiert werden können, sammeln sich an. Die

⁹⁾ Sorge [331]; Jaeger [161]; Pittelkow [60]; Jaeger [29, 30, 31, 267, 133].

Verwitterung ist vorwiegend mechanisch, und äolische Abtragung und Aufschüttung werden flächenhaft wirksam. Humide Gebiete zeichnen sich dagegen durch Vorhandensein landeigener, perennierender Flüsse aus. Die Gewässer haben Süßwasser und im Meer ihre eigentliche Erosionsbasis. Im Boden überwiegt die abwärts gerichtete Wasserbewegung. Es kommt zur Bildung von Auslaugungsböden und flächenhaftem Grundwasser. Wichtigstes morphologisches Agens ist die fluviatile Erosion, und die chemische Verwitterung herrscht vor.

Als wichtige Ergänzung zur Beobachtung im Gelände muß m. E. aber angestrebt werden, diese rein empirische Festlegung der Penck'schen Areale, wie sie für Afrika von F. Jaeger [161] und für Südamerika von E. Sorge [331] abgegrenzt und charakterisiert wurden, möglichst exakt mit meteorologischem Beobachtungsmaterial zahlenmäßig zu belegen und zu vervollständigen.

Wie bereits ausgeführt, muß eine Formel, die für die Bestimmung der klimatischen Aridität oder Humidität eines Monats zur Anwendung kommt, zugleich „treffend und einfach“ sein, wie Köppen sich ausdrückt [43], S. 20. Es wurde daher die Trockengrenzformel nach de Martonne (Ariditätsindex 20) aus folgenden Gründen ausgewählt: 1. weil sie einfach ist, 2. weil sie nach Vergleich mit den tatsächlichen Verhältnissen für die Untersuchungsgebiete sich als die treffendste erwies⁹⁾.

Um festzustellen, ob ein Monat an einem bestimmten Ort als klimatisch humid oder arid anzusehen ist, wurde von jeder Station nach de Martonne der "Indice d'aridité" errechnet. Alle Monate, die den Index 20 nicht erreichen, wurden als aride, alle diejenigen, die ihn überschreiten, als humide Monate bezeichnet. Die Anzahl der humiden bzw. ariden Monate einer Station wurden dann zusammengezählt und in ihrer Reihenfolge festgehalten, um die humiden und ariden Jahreszeiten in ihrem Wechsel ablesen zu können¹⁰⁾. Die Monate sind mit fortlaufenden Nummern von 1 bis 12 gekennzeichnet. Zur Verdeutlichung ausgewählter Beispiele aus den Tabellen wurden zwei Arten der graphischen Darstellung angewandt.

Bei der ersten Darstellungsweise wurden nach Art der Niederschlagsdiagramme auf der Abszisse die 12 Monate eingetragen, auf der Ordinate der ausgerechnete Index. Durch Kennzeichnung des ariden Bereichs (Index unter 20) kann man sofort die Anzahl der ariden bzw. humiden Monate ablesen. Gleichzeitig aber kann Gang und Dauer der Humidität am Verlauf der Kurve abgelesen werden, ähnlich wie bei einem Niederschlagsdiagramm. Schließlich sagt die Kurve auch etwas über den Grad der Humidität in den einzelnen Monaten aus, da man den Ariditäts- besser Humiditätsindex für jeden Monat ablesen kann (Abb. 3 u. 4).

⁹⁾ Vgl. die von de Martonne gegebenen Proben [51, 52, 53, 300] mit den Übersichtsuntersuchungen humider und arider Gebiete von Sorge [331]; Pittelkow [60] und Jaeger [161, 29, 30, 31, 267].

¹⁰⁾ Penck hat mit den beiden Begriffen humid und arid den mittleren Jahreszustand charakterisiert und damit eine räumliche Vorstellung verbunden. Durch die Verwendung der Termini auch für die Bezeichnung des Klimacharakters kürzerer Zeitabschnitte (Monate, Jahreszeiten) erfährt das Begriffspaar eine erweiterte Verwendung, gegen die man Einwände erheben könnte. Demgegenüber kann aber gesagt werden, daß Penck mit „arid“ und „humid“ nur Gebiete mit im Durchschnitt aridem und humidem Klimacharakter bezeichnen wollte. Dieser Klimacharakter kann aber wohl auch für kürzere Zeitabschnitte berechnet und zur Darstellung gebracht werden.

Bei der zweiten Darstellungsart findet man auf der Abszisse den Monatsniederschlag in mm, auf der Ordinate die Monatsmitteltemperatur in °C eingetragen (vgl. Wang 1941). Man erhält somit für die einzelnen Monate Punkte, die miteinander verbunden eine Jahreskurve der Humidität für eine bestimmte Station ergeben. Diese Darstellungsweise zeigt vor allem die Bedeutung der beiden, die Humidität eines Ortes bedingenden Faktoren Niederschlag und Temperatur und eignet sich besonders für großräumige Vergleiche von Stationen, bei denen die verschiedene Wirkung der Einzelkomponenten besonders wesentlich hervortritt. Zudem läßt sich sofort die Anzahl der humiden und ariden Monate und der Grad der Humidität ablesen, da die Trockengrenze den ariden von dem humiden Bereich scheidet (vgl. Fig. 18, 19, 20).

Die beiden genannten Diagrammart dienen aber nur zur Verdeutlichung und Charakterisierung der Hauptkarte (vgl. Taf. 1), in der die Zahl der humiden bzw. ariden Monate für Afrika und Südamerika flächenhaft in der Weise eingetragen ist, daß alle Orte mit gleicher Zahl humider bzw. arider Monate durch Iso-Linien abgegrenzt sind. Die Linien aber, die die Gebiete gleicher Dauer der Humidität abgrenzen, wollen wir „Isohygromenen“ nennen (isos = gleich, hygros = feucht (humid), men = Monat). Durch die Abgrenzung der einzelnen Areale gleicher Humiditätsdauer durch die Isohygromenen entstehen 13 Zonen verschiedener Humidität bzw. Aridität¹¹⁾. Bei der Zeichnung der Karte wurden mehrere Areale unter der gleichen Signatur zusammengefaßt, die für die klimatischen Vegetationsgürtel charakteristisch sind (vgl. Taf. 1).

Die Darstellung der Isohygromenen war in Gebieten mit sehr dichtem Stationsnetz verhältnismäßig einfach. In solchen mit weniger dichtem wurden außer topographischen Karten auch Klima- und Vegetationsschilderungen entsprechend den in besser beobachteten Gebieten gemachten Erfahrungen herangezogen. Außerordentlich erschwert war die Linienführung in Gebieten mit starker Reliefenergie und dort, wo große klimatische Unterschiede auf kleinem Raum auftraten (z. B. in den Anden, im ostafrikanischen Grabengebiet, in den Atlasländern oder im Gebiet der Kapfalten). Es versteht sich von selbst, daß hier die Linienführung stark verallgemeinert werden mußte. Der dreidimensionale Aufbau der Klima- und Vegetationsgebiete, wie er durch die starke Reliefenergie hervorgerufen ist, wird daher in Ergänzung der flächenhaften Darstellung durch eine Anzahl von Profilen wiedergegeben (vgl. Abb. 11, 12).

Die Bestimmung des Humiditätsgrades erübrigt sich in den Tropen und Subtropen weitgehend, da in der Regenzeit durchweg volle, für die Vegetation völlig ausreichende Humidität gegeben ist, wohingegen die als arid bestimmte Trockenzeit die Verdunstungsbilanz der Vegetation eingreifend stört. Der Grad der Humidität ist daher in diesen Gebieten ein untergeordneter Faktor, der aber mit der gleichmäßigeren Verteilung und mäßigen Höhe der Niederschläge an Bedeutung gewinnt und daher in den gemäßigten Breiten nicht vernachlässigt werden darf. In den periodisch berechneten Tropen und Subtropen wirken Dauer und Grad der Humidität

¹¹⁾ Es soll im Verlauf der Arbeit in der Hauptsache nur von humiden Monaten die Rede sein, wobei die Anzahl der ariden Monate entsprechend ergänzt werden kann: z. B. 12 humide = 0 aride Monate, 11 humide Monate = 1 arider Monat usw. Die Ziffern an den Isohygromenen geben jeweils den Beginn der nächst längeren Humiditätsdauer an. So grenzt also z. B. die Linie 7 die Fläche von 6 hM und 7 hM ab (vgl. Skala Tafel 1).

in gleichem Sinne, d. h. bei Verringerung der Zahl der humiden Monate tritt gleichzeitig auch eine Verringerung des Grades der Humidität ein. Gewisse Abweichungen, die vornehmlich in Gebieten erhöhten Niederschlagsreichtums auftreten, sind im Text erläutert. Eine große Wirkung üben freilich aperiodische Schwankungen des Klimas auf den Grad wie auf die Dauer der Humidität aus. Diese Schwankungen aber (besonders stark in NE-Brasilien und im Gran Chaco) sind durch die klimatischen Mittelwerte überhaupt nicht zu fassen. Wichtig ist hierbei aber für die späteren Erörterungen, daß die Vegetation sich in solchen Fällen immer den ungünstigsten Klimaverhältnissen anzupassen pflegt. Eine Karte des Humiditätsgrades für Jahresmittelwerte ist bereits von *de Martonne* für die ganze Erde entworfen worden [49], S. 408; [52]. Diese Karte entspricht für die Tropen und Subtropen weitgehend der Niederschlagskarte, die sich aber gerade für das tropische und subtropische Afrika und Südamerika als unzureichendes Kriterium der Vegetationstypen erwiesen hat.

A. Humide und aride Jahreszeiten in Afrika und Südamerika.

I. Die Typen der ombrothermischen Klimate (Humiditätstypen) in Afrika und Südamerika. (Vgl. Taf. 1).

Die Ermittlung des Humiditätsindex für die einzelnen Monate an den der Arbeit zu Grunde liegenden Stationen führte zunächst zur Darstellung der ombrothermischen Klimate (Humiditätstypen), in der vor allem der jährliche Gang der Humidität besondere Berücksichtigung fand. Zu einer Niederschlagstypenkarte, wie etwa der von *H. Schmidt* [207] für Afrika, weist die Darstellung der ombrothermischen Klimate merkliche Unterschiede auf, da hierbei die Temperatur mitberücksichtigt ist. Der Hauptunterschied liegt aber in einer verschiedenen Wertung der Trockenzeit bei *Schmidt* und der ariden Zeit in vorliegender Untersuchung. Bei der Niederschlagstypisierung von *Schmidt* sind die Trockenzeiten relative Trockenzeiten [207], S. 6, die nach dem relativen Exzeß des Regenfalles (= relative Monatsabweichung des Niederschlags) ermittelt sind. Der „relative pluviometrische Exzeß“ (von *Angot* zuerst 1893¹²⁾ als „*écart pluviométrique relatif*“ bezeichnet), bedeutet die Abweichung von einem Zwölftel des mittleren Jahresniederschlags. In der Trockenzeit muß demnach das monatliche Niederschlagsmittel geringer als 8,5 Prozent oder $\frac{1}{12}$ des Jahresmittels sein. Die Trockenzeit richtet sich nach der jährlichen Niederschlagsmenge, ist also relativ festgelegt. Ein arider Monat ist absolut festgelegt, d. h. ein Monat ist arid, wenn er den Index 20 (nach *de Martonne*) nicht erreicht. Da sich aber der Index 20 (etwa *Penck*sche Trockengrenze) als eine für die organische und anorganische Natur wichtige Grenze herausgestellt hat, darf man die absolute Festlegung der Trockenzeit, das Auftreten arider Monate also, als geographisch wirksamer ansehen, als eine relativ festgelegte Trockenzeit.

Für Südamerika bereitete der Entwurf der Karte der ombrothermischen Klimate größere Schwierigkeiten als für Afrika, da die bewegte Ober-

¹²⁾ *Hann-Süring* [22], S. 455.

flächengestalt die großräumigen Klimabereiche örtlich sehr stark abändert, das Stationsnetz dafür aber bei weitem nicht ausreicht.

Folgende Typen der ombrothermischen Klimate (Humiditätstypen) konnten für die beiden Kontinente aufgestellt werden (vgl. Taf. 1). In Afrika kommen nur die ersten acht Typen vor, darüber hinaus treten weitere vier — im ganzen also 12 — Typen in Südamerika auf.

1. Tropisch dauernd humider Typ. Taefd¹³).
(Semperhumider Tropen- und Äquatorialtyp).
12 humide Monate, meist 2 Maxima der Humidität gemäß des äquatorialen Regenganges. Keine aride Zeit.
(Vgl. Abb. 3, Fig. 2; Abb. 4, Fig. 8.)
2. Äquatorialer Typ mit einer ariden Zeit. Taet₁.
(Einfach-arider Äquatorialtyp).
Eine aride Zeit im Winter der jeweiligen Halbkugel. Äquatorialer Gang der Humidität.
(Vgl. Abb. 3, Fig. 3; Abb. 4, Fig. 9.)
3. Äquatorialer Typ mit zwei ariden Zeiten. Taet₂.
(Doppel-arider Äquatorialtyp).
Zwei aride Zeiten. Äquatorialer Gang der Humidität.
(Vgl. Abb. 3, Fig. 4; Abb. 4, Fig. 10.)
4. Tropisch-sommerhumider Typ. Tfso.
(Sommerhumider Tropentyp).
Aride Zeit im Winter. Humiditätsmaximum im Sommer.
(Vgl. Abb. 3, Fig. 5; Abb. 4, Fig. 11.)
5. Tropisch-winterhumider Typ. Tfwl.
(Winterhumider Tropentyp).
Aride Zeit im Sommer. Humiditätsmaximum im Winter.
(Vgl. Abb. 4, Fig. 12.)
6. Subtropisch dauernd humider Typ. sTfd.
(Semperhumider Subtropentyp).
12 humide Monate. Kein ausgesprochener Gang der Humidität. Maximum aber vorwiegend im Sommer.
(Vgl. Abb. 4, Fig. 13.)
7. Tropisch-subtropisch dauernd arider Typ. Ttd + sTtd.
(Semperarider Tropen- und Subtropentyp).
12 aride Monate.
(Vgl. Abb. 3, Fig. 7; Abb. 4, Fig. 14.)

¹³) Neben der ausführlichen Bezeichnung der Typen (vgl. auch Taf. 1) finden sich eingeklammert andere meist kürzere Bezeichnungen. Außerdem sind die Typen mit Abkürzungen kenntlich gemacht, die vornehmlich in den in der Arbeit enthaltenen Tabellen Verwendung fanden. Dabei bedeutet

T = tropisch,
sT = subtropisch,
G = gemäßigt,
ae = äquatorialer Gang der Humidität,
f = humid (feucht),
d = ganzjährig (dauernd),
t = arid (trocken),
t₁ = eine aride Zeit,
t₂ = zwei aride Zeiten,
so = sommerhumid,
wi = winterhumid,
he = herbsthumid.

8. Subtropisch winterhumider Typ. sTfwi.
(Winterhumider Subtropentyp).
Aride Zeit im Sommer. Humiditätsmaximum im Winter.
(Vgl. Abb. 3, Fig. 6; Abb. 4, Fig. 15.)
9. Subtropisch sommerhumider Typ. sTfso.
(Sommerhumider Subtropentyp).
Aride Zeit im Winter. Humiditätsmaximum im Sommer.
10. Dauernd humider Typ der gemäßigten Breiten. Gfd.
(Semperhumider Typ der gemäßigten Breiten).
12 humide Monate. Humiditätsmaximum vornehmlich im Winter.
11. Herbsthumider Typ der gemäßigten Breiten. Gfhe.
Aride Zeit im Frühjahr. Humiditätsmaximum im Herbst.
12. Dauernd arider Typ der gemäßigten Breiten. Gtd.
(Semperarider Typ der gemäßigten Breiten).
12 aride Monate.

In Afrika ist der tropisch dauernd humide Typ auf das Kongobecken und einen schmalen Streifen an der Küste des Guineabusens beschränkt. Die Ausdehnung ist nicht besonders groß (vgl. Tafel 1). Selbst zwischen dem Kongobecken und dem Guineabusen tritt wenigstens ein arider Monat auf. In Südamerika dagegen nimmt dieser Typ einen bedeutend größeren Raum ein. Das innere Amazonasbecken, das kolumbianische und nordecuatorianische Andengebiet bilden — nur unterbrochen durch trockene Längs- und Quertäler der Anden — ein geschlossenes Areal dieses Typs. Er tritt aber auch im Bergland und an der Küste von Guayana sowie an der Serra do Mar zwischen Bahia und Rio de Janeiro in größerem Umfang auf.

Der äquatoriale Typ mit einer ariden Zeit schließt sich in Afrika an den dauernd humiden Bereich des Kongobeckens nach Norden und Süden an. Er reicht nach Süden etwa bis 12° s. Br., in Angola sogar bis 18° . In Ostafrika tritt er dafür um so näher an den Äquator heran. Im Norden variiert seine Grenze zwischen dem 6. und 10. Breitengrad. Von geringerer Ausdehnung ist dieser Typ in Südamerika. Sehr gut durch Beobachtungsdaten zu erfassen ist er in den Tal- und Beckenlandschaften der kolumbianischen und ecuatorianischen Anden, im nordkolumbianischen Tiefland, an der Lagune von Maracaibo und im Bergland von Coro. Ein mehr oder minder breiter Streifen im Norden, Osten und Süden des dauernd humiden Amazonasbeckens ist durch Stationen nicht einwandfrei nachweisbar, aber zu vermuten. Besser belegt ist der Taet₁, wieder im Bergland von Guayana.

Der äquatoriale Typ mit zwei ariden Zeiten ist vor allem im nördlichen Ostafrika, aber auch an der Elfenbein-, Gold- und Sklavenküste zu finden, wo das sommerliche Monsunphänomen nicht zur Auswirkung gelangt. Auch das Trockengebiet an der Küste von Angola zeigt diesen Typ deutlich ausgeprägt. Ein sehr kleines Areal nimmt der Taet₂ dagegen in Südamerika ein. Er ist auf die trockensten Teile von Venezuela, Nordkolumbien und ein geschlossenes Gebiet im Südteil des nordost-brasilianischen Trockengebietes beschränkt.

Sehr große Ausdehnung hat in Afrika der tropisch sommerhumide Typ, der als breiter Gürtel zwischen 5 bis 10° und 17 bis 22° das nördliche Afrika durchzieht und südlich der äquatorialen Typen weite

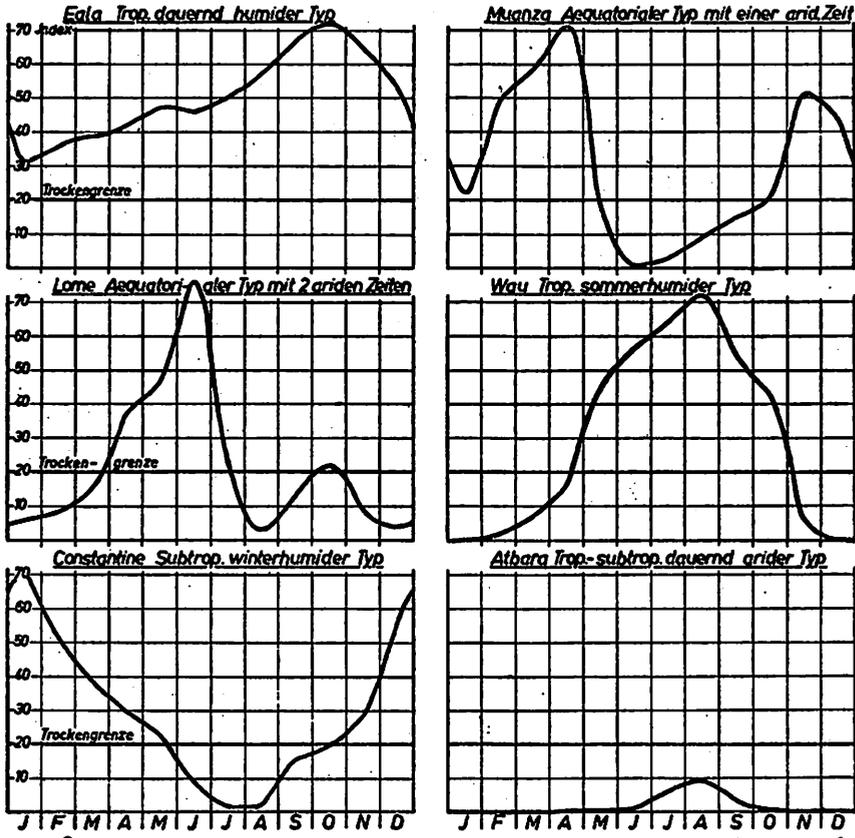


Abb. 3: Fig. 2: Humiditätsgang an der Station Eala
 Fig. 3: Humiditätsgang an der Station Muanza
 Fig. 4: Humiditätsgang an der Station Lome
 Fig. 5: Humiditätsgang an der Station Wau
 Fig. 6: Humiditätsgang an der Station Constantine
 Fig. 7: Humiditätsgang an der Station Atbara

	Breite		Länge (E)		Humidity Data															
Eala	0° 03'S		18° 08'		12 humide Monate															
Monate:	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D								
Index:	31	36	39	62	47	46	21	57	67	72	65	54								
Muanza	2° 31'S		32° 54'		7 humide Monate															
Monate:	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D								
Index:	22	49	58	71	19	1	3	9	15	20	31	44								
Lome	5° 55'N		0° 59'		5 humide Monate															
Monate:	J	E	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D								
Index:	6	8	15	37	46	76	25	3	13	22	9	4								
Wau	7° 42'N		28° 03'		6 humide Monate															
Monate:	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D								
Index:	0,3	2	7	16	45	57	64	72	55	43	5,7	0								
Constantine	35° 22'N		6° 37'		7 humide Monate															
Monate:	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D								
Index:	70	52	39	30	23	9	2	2	16	19,5	28	56								
Atbara	17° 40'N		33° 58'		0 humide Monate															
Monate:	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D								
Index:	0	0	0	0,6	0,5	1	6	9	3	0,25	0	0								

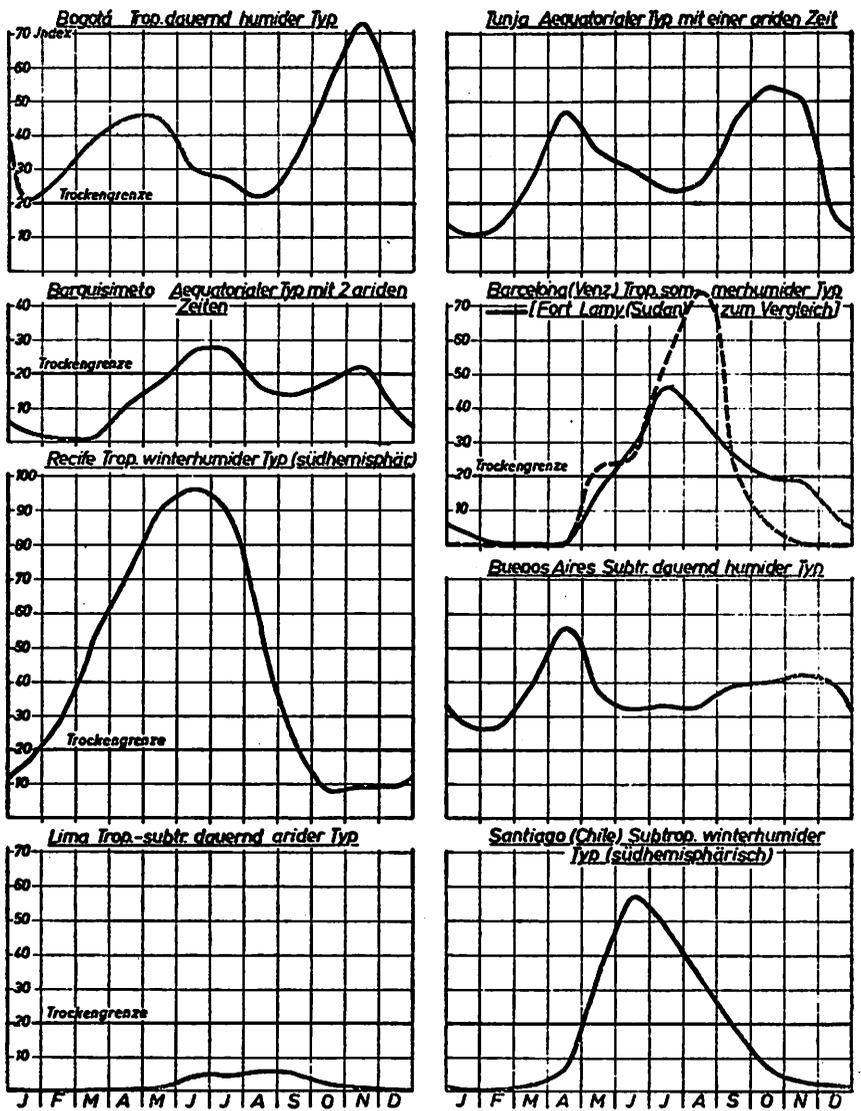


Abb. 4: Fig. 8: Humiditätsgang an der Station Bogotá
 Fig. 9: Humiditätsgang an der Station Tunja
 Fig. 10: Humiditätsgang an der Station Barquisimeto
 Fig. 11: Humiditätsgang an der Station Barcelona
 Fig. 12: Humiditätsgang an der Station Recife
 Fig. 13: Humiditätsgang an der Station Buenos Aires
 Fig. 14: Humiditätsgang an der Station Lima
 Fig. 15: Humiditätsgang an der Station Santiago

	Höhe über NN		Breite		Länge (W)		12 humide Monate																
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D											
Bogotá	2660 m		4° 35' N		74° 14'																		
Monate:	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D											
Index:	21	27	39	45	45	30	27	22	33	55	73	40											

Tunja	2801 m	5° 32'N	73° 22'	9 humide Monate						
Monat:	J F	M A	M J	J A S	O	N	D			
Index:	11 13	27 47	35 30	24 26 44	54	51	17			
Barquisimeto	566 m	10° 04'N	69° 19'	4 humide Monate						
Monat:	J F	M A	M J	J A S	O	N	D			
Index:	.3 1	1 11	18 27	27 16 14	28	22	9			
Barcelona	3 m	10° 08'N	64° 41'	5 humide Monate						
Monat:	J F	M A	M J	J A S	O	N	D			
Index:	4 0,1	0,2 0,3	16 29	46 38 26	20	19	8			
Fort Lamy	(z. Vergleich)	12° 17'N	12° 29'E	5 humide Monate						
Monat:	J F	M A	M J	J A S	O	N	D			
Index:	0 0	0,1 0,3	23 25	55 74 23	6	0	0			
Recife	30 m	8° 05'S	34° 51'	8 humide Monate						
Monat:	J F	M A	M J	J A S	O	N	D			
Index:	16 28	52 70	90 96	90 55 23	8	9	9			
Buenos Aires	25 m	34° 37'S	58° 22'	12 humide Monate						
Monat:	J F	M A	M J	J A S	O	N	D			
Index:	28 27	39 56	37 32	33 33 39	40	42	39			
Lima	158 m	12° 04'S	81° 41'	0 humide Monate						
Monat:	J F	M A	M J	J A S	O	N	D			
Index:	0 0	0,3 0,3	0,8 4	4 5 5	2	1	0,4			
Santiago	500 m	33° 37'S	70° 42'	4 humide Monate						
Monat:	J F	M A	M J	J A S	O	N	D			
Index:	0,4 0,8	2 7	35 57	48 33 19	7	3	2			

Räume Südafrikas einnimmt. Auch in Südamerika nimmt dieser Typ den breitesten Raum ein. Die Llanos des Orinoco und des Mamoré, die Campos Brasiliens und das untere Amazonasgebiet, die Anden Perus und Boliviens zeigen diesen Typ sehr deutlich. Ein Untertyp durch Verschiebung des Humiditätsmaximums in den Herbst tritt von der Amazonasöffnung bis zum Kap São Roque an der atlantischen Küste auf.

Der tropisch winterhumide Typ kommt in Afrika nur als lokales Phänomen an den Gebirgshängen des abessinischen Berglandes zum Roten Meer hin vor. In Südamerika dagegen tritt er sowohl an der venezolanischen Nordküste und auf den vorgelagerten Inseln, als auch an der nordost-brasilianischen Küste auf. Das winterliche Maximum wird vorwiegend an beiden Stellen durch passatische Steigungsniederschläge hervorgerufen.

Der tropisch-subtropisch dauernd aride Typ hat in Afrika durch die ausgedehnte Sahara und die Küstenwüste Namib sehr große Verbreitung, der in Südamerika die dauernd aride peruanische und nordchilenische Wüste und die Wüstenpuna im Hochgebirge gegenübersteht.

Der subtropisch dauernd humide Typ findet sich in Afrika nur — durch Stationen erfaßt — im „Knysnaforest“ zwischen Mosselbay und Port Elizabeth, daneben wohl an manchen durch Steigungsregen feuchten Hängen im Kapland und an der Ostabdachung Südafrikas. In Südamerika hat dieser Typ ein verhältnismäßig großes Verbreitungsareal an der Ostküste zwischen Rio de Janeiro und Bahia Blanca und deren Hinterland (Südbrasilien und Pampagebiete Uruguays und Argentiniens).

Der subtropisch winterhumide Typ ist in Afrika wie in Südamerika auf die sog. „Etesiengebiete“ beschränkt (Mittelmeergebiet, Kapland, Mittelchile). Im Atlas ist das Maximum der Humidität zum Frühjahr verschoben, was zur Ausgliederung eines Untertyps führte.

Der subtropisch sommerhumide Typ schließt in Südamerika an den tropisch sommerhumiden Typ nach Süden an (in Afrika fehlt dieser Typ, wenn man nicht in Südafrika die südlichsten Bereiche des tropisch sommerhumiden Typs bereits zu den Subtropen rechnen will), dem in den gemäßigten Breiten Südamerikas ein Herbsthumider Typ folgt (lang-

sames Verschieben des Humiditätsmaximums in den Herbst in Argentinien). Im Süden des südamerikanischen Kontinents heben sich noch sehr deutlich durch die Anden getrennt der westpatagonische dauernd humide Typ der gemäßigten Breiten und der ostpatagonische dauernd aride Typ der gemäßigten Breiten heraus, zwischen denen der herbsthumide Typ als Übergangsgebiet am Ostrand der Anden sehr weit nach Süden vordringt.

II. Die Zahl der humiden bzw. ariden Monate in Afrika.

a) Der nordhemisphärisch sommerhumide Bereich.

1. Westlicher Sudan.

Im Sudan zeichnen sich die Isohygromeren wie alle klimatischen Abgrenzungen durch einen sehr regelmäßigen West-Ost-Verlauf aus, der auf eine gleichmäßige Zunahme der Dauer der Humidität von Norden nach Süden, von der völlig ariden Sahara bis zum ganzjährig humiden Kongobecken oder der sehr humiden Guinea-Küste hindeutet. Das Maximum der Humidität herrscht kurz nach dem Sonnenhöchststand. Die winterliche Trockenzeit ist meist streng arid. Im westlichen Sudan tritt eine sehr ausgeprägte Periodizität auf, die sich in einem scharfen Gegensatz von extrem humiden Sommermonaten und extrem ariden Wintermonaten ausdrückt, eine Folge

Tabelle 1: Stationsreihe im westlichen Sudan:

Station	Breite (N)	Länge (E)	Humide Monate*	Aride Monate	Zahl der Monate	
					humid	arid
Atar	20° 31'	13° 04'	—	1—12	0	12
Tidjika	18° 30'	11° 33'	8	1—7, 9—12	1	11
Matam	15° 38'	13° 16'	7—9	1—6, 10—12	3	9
Kidira	14° 32'	12° 15'	6—9	1—5, 10—12	4	8
Khedugu	11° 37'	12° 13'	6—10	1—5, 11, 12	5	7
Labé	11° 32'	12° 43'	5—10	1—4, 11, 12	6	6
Timbo	10° 42'	11° 49'	4—10	1—3, 11, 12	7	5
Freetown	8° 29'	13° 14'	4—11	1—3, 12	8	4

* Die Monate sind mit Ziffern von 1 bis 12 bezeichnet.

Ein ähnlicher Querschnitt läßt sich auch in Nigerien legen, ohne daß er wesentlich von dem aufgezeichneten abweichen würde.

Tabelle 2: Stationsreihe in Franz. Äquatorial-Afrika.

Station	Breite (N)	Länge (E)	Humide Monate	Aride Monate	Zahl der Monate	
					humid	arid
Bol	13° 28'	14° 44'	8	1—7, 9—12	1	11
Ft. Lamý	12° 17'	12° 29'	6—9	1—5, 7—12	4	8
Ft. Archambault	9° 09'	18° 26'	5—10	1—4, 11, 12	6	6
Ft. Crampel	7° 06'	19° 30'	4—10	1—3, 11, 12	7	5
Bangui	4° 21'	18° 35'	3—11	1, 2, 12	9	3

der Zugehörigkeit des gesamten Sudangebietes zur Monsunzone des Atlantischen Ozeans¹⁴⁾ vgl. Tab. 1, Abb. 11, Prof. 1, S. 81).

2. Anglo-Ägyptischer Sudan.

Im Verlauf der Isohygromenen im gesamten Sudan kann man in der West-Ost-Richtung ein leichtes Absinken der Linien nach Süden beobachten. Bei näherem Zusehen stellt sich heraus, daß in den Stationen des östlichen Sudan bei gleicher Zahl der humiden Monate nicht derselbe Humiditätsgrad erreicht wird, wie in denen des westlichen. Es fällt also offenbar im Westen in der humiden Zeit mehr Niederschlag, als im Osten. In letzterem liegen die Temperaturen wegen der kontinentaleren Lage ein wenig höher. Die Verdunstung ist also größer. Die Stationen mit sieben humiden Monaten im westlichen Sudan weisen durchweg Jahresniederschläge über 1000 mm auf, im Abiad-Becken hingegen liegt er durchweg zwischen 850 und 1000 mm (vgl. Tab. 3).

Tabelle 3: Stationen gleicher Humiditätsdauer im Sudan.

Station	humide Monate	Niederschlag (Jahr) mm	Lage
Ft. Bruce	7	909 mm	A. Ä. Sudan
Bor	7	941 mm	A. Ä. Sudan
Ghaba Shambe	7	833 mm	A. Ä. Sudan
Ft. Crampel	7	1291 mm	Franz. Äquat. Afrika
Ilorin	7	1248 mm	Nigeria
Sansane Mangu	7	1070 mm	Togo

Der Grund für die Abnahme des Humiditätsgrades ist entsprechend der geringeren Niederschlagsintensität im oberen Nilgebiet in den Zirkulationsverhältnissen zu suchen. Die großräumige Verteilung des Luftdrucks¹⁵⁾ wie auch die eindeutige Zugehörigkeit zum sommerhumiden Typ beweisen zur Genüge, daß auch die Niederschläge in Oberägypten noch der Auswirkung der SW-Monsuns zu verdanken sind. Trotzdem erscheint es aber fraglich, ob die gesamten Niederschläge Oberägyptens von der feuchten atlantischen Monsunluft herkommen. Es sind sicherlich auch Luftmassen daran beteiligt, die ihren Ursprung im Indischen Ozean haben¹⁶⁾.

3. Abessinisches Hochland einschl. Eritrea.

Die Isohygromenen würden sicher ihre westöstliche Orientierung behalten, wenn nicht das Abessinische Hochland das allgemeine Höhenniveau überragen und eine feuchtere Insel in der sonst nur mäßig feuchten Umgebung darstellen würde. Vor allem die südlich exponierten Hänge zeichnen sich durch höhere Ergiebigkeit der Niederschläge infolge monsunaler Steigungsregen aus. Es nimmt folglich auch die Dauer der Humidität zu. Durch meteorologische Beobachtungen erfaßt sind bis zu neun humiden Monaten. Der Nordteil des Abessinischen Hochlandes gehört dem tropisch-sommer-

¹⁴⁾ Loewe [177], S. 30; Hubert in [149]; Semmelhack [212], S. 116; Heilgermann [154], S. 49, Anhang Fig. 15-18.

¹⁵⁾ Krugler [173]; Lyons/Craig [179], S. 8, 211, Fig. 4.

¹⁶⁾ Fantoli [133], S. 151.

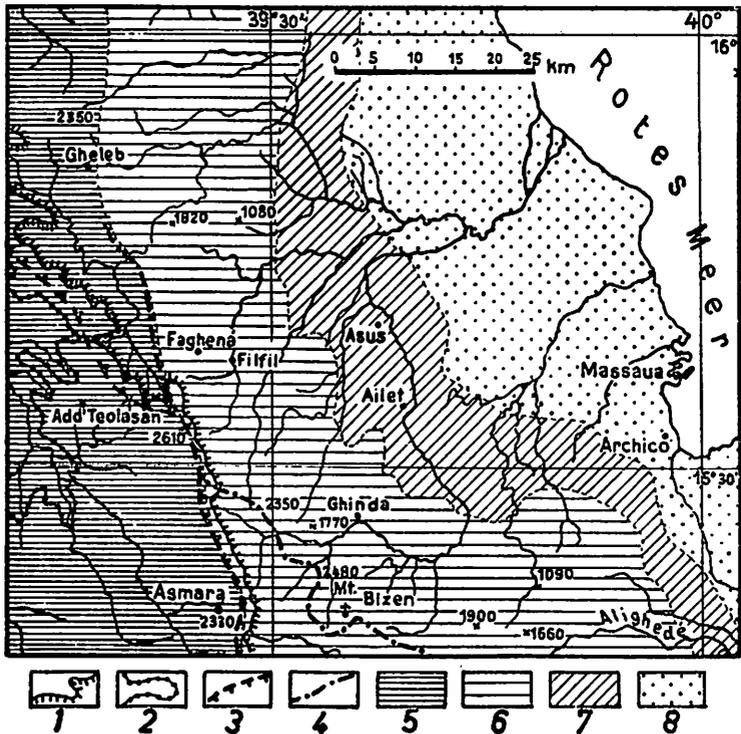


Abb. 5: Die Typen der ombrothermischen Klimäte am Ostabfall des abessinischen Hochlandes

- 1 = Östlicher Steilrand des Altiplano zum Rotmeergraben hin (n. C. Troll 1939)
- 2 = Westrand des Altiplano (n. C. Troll 1939)
- 3 = Westgrenze der winterlichen Nebel bei voller Ausbildung (n. C. Troll 1939)
- 4 = Westgrenze der winterlichen Nebel bei mäßiger Ausbildung (n. C. Troll 1939)
- 5 = Bereich des sommerhumiden Tropentyps (Tfso)
- 6 = Bereich des äquatorialen Typs mit zwei ariden Zeiten (Taetz) (vgl. hierzu Text)
- 7 = Bereich des winterhumiden Tropentyps (Tfwi)
- 8 = Bereich des dauernd ariden Tropen- und Subtropentyps (TsTtd)

humiden Typ an wie die übrigen Sudan-Stationen. Im Osten des Hochlandes, nahe dem Abfall zum Roten Meer, stellt sich ein schmaler Streifen mit doppelter Humiditätszeit ein, der dem äquatorialen Typ mit zwei ariden Zeiten gleichkommt, aber genetisch nicht entspricht, der schließlich in einen ebensolchen mit winterlicher Humidität am Fuße des Gebirgsabfalles übergeht¹⁷⁾. Der äquatoriale Typ mit zwei ariden Zeiten entsteht durch Überschneidung des sommerhumiden mit dem winterhumiden Tropentyp (vgl. hierzu Abb. 5). Dieses Phänomen der Winterhumidität ist an den Rändern des südlichen Roten Meeres eine lokale Erscheinung, die sowohl auf der eritreischen als auch auf der arabischen Seite anzutreffen, aber noch nicht restlos geklärt ist. Es handelt sich aber kaum um Niederschläge des auflandigen asiatischen Wintermonsuns, wie dies bei Hann [20] und

¹⁷⁾ Troll [221].

H. Schmidt [207], S. 40, zu lesen ist; sondern im wesentlichen um die verschiedene Wirkung (im Sommer und Winter) des Roten Meeres auf die dortige Luftdruck- und Windverteilung, die eine Umkehr der Regenzeiten im südlichen Rotmeergebiet zur Folge hat¹⁸⁾. Hang- und Ausgleichswinde sind für die Niederschlagsbildung und -verteilung dabei vorwiegend ausschlaggebend¹⁹⁾. Eine Verbindung zu dem Winterniederschlagsgebiet des Mittelmeeres ist wohl kaum gegeben, da die Erscheinung nur auf den südlichen Teil des Roten Meeres beschränkt ist. Die Hangwinde führen zu ausgedehnten Nebelzonen an den Berghängen, aus denen vielfach tropfbarer Niederschlag fällt, der jedoch nach Norden immer seltener wird, so daß dort nur noch Nebelfeuchtigkeit auftritt (Nebeloase von Erkwit²⁰⁾). Winterliche Humidität wird nur an den bestberechneten Abhängen erreicht, in den meisten Fällen reicht der Niederschlag zur Humidität nicht aus (s. MASSAUA, Tab. 4). Die vielfach sehr hohe Nebelfeuchtigkeit wird im Regenschirm nicht erfaßt (vgl. Tab. 4).

Tabelle 4: Stationsprofil vom Roten Meer zum Abessinischen Hochland.

Station	Höhe m	Breite (N)	Länge (E)	Humide Monate	Aride Monate	Humide Monate im		Typ
						Sommer Juni-Sept.	Winter Okt.-März	
Belesa	2426	15° 26'	38° 54'	7—9	1—6, 10—12	3	0	Tfso
Asmara	2332	15° 20'	38° 55'	7, 8	1—6, 9—12	2	0	Tfso
Merara	2390	15° 41'	38° 52'	1—4, 7, 8, 10—12	5, 6, 9	2	7	Taetz
Faghena	1760	15° 36'	38° 55'	1—4, 7, 8, 10—12	5, 6, 9	2	7	Taetz
Filfil	651	15° 37'	39° 02'	1—5, 7, 10—12	6, 8, 9	1	8	Taetz
Ghinda	962	15° 28'	39° 06'	1—5, 7, 10—12	6, 8, 9	1	8	Taetz
Damas	420	15° 29'	39° 13'	1, 2, 11, 12	3—10	0	4	Tfwi
Massaua	2	15° 36'	39° 28'	—	1—12	0	0	Ttd

In den Tälern des Abessinischen Berglandes ist die Dauer der humiden Zeit meist nicht so groß, wie auf den Höhen, wo die Abnahme der Temperatur und die Zunahme der Niederschläge verlängernd wirken. Gleichzeitig wandelt die jeweilige Exposition das Bild auf kleinem Raum sehr stark ab.

b) Die äquatorialen Humiditätsbereiche.

1. Der klimatische Äquator.

Mitten durch das Gebiet der äquatorialen Humiditätstypen zieht der klimatische Äquator, der die nordhemisphärische Zirkulation von der südhemisphärischen trennt. Er ist in Kamerun um mehrere Breitengrade gegenüber dem astronomischen Äquator nach Norden verschoben bis in die Gegend nördlich von DIPIKAR (2°02'N, 9°54'E) und KAMPO (2°21'N, 9°50'E), die beide aber im Gang der Humidität schon den südhemisphärischen Typ andeuten, indem sie die größte Abnahme des Humiditätsgrades im Südwinter (Juli) zeigen. Der Januar bleibt noch humid.

¹⁸⁾ Vgl. hierzu Loewe [177], S. 43; Krugler [173].

¹⁹⁾ Troll [221], S. 221.

²⁰⁾ Troll [220].

Im Kongobecken erreicht der klimatische Äquator den astronomischen, dem er etwa bis an den Nordrand des Victoria-Sees folgt. Die Ausbuchtung in Mittelfrika nach Norden, wie sie bei H. Schmidt [207] in Karte 2 angedeutet ist, dürfte nach den neuesten Niederschlagsdarstellungen von P. Goedert [148] und A. Vandenplas [222] nicht mehr so tief angenommen werden. Die Stationen LULA (0°27'N, 25°15'E), YANGAMBI (0°45'N, 24°33'E) und LUBERO (0°09'S, 29°14'E) zeigen durchaus noch nordhemisphärischen Charakter in Humiditäts- und Regengang. Ostwärts des Victoria-Sees, wo zunächst ein Übergreifen des klimatischen Äquators um einen Grad nach Norden festzustellen ist, biegt er plötzlich scharf nach Süden um und läuft etwa bei 6° s. Br. an der Pangani-Mündung in den Indischen Ozean. Die Ursache der Nordabweichung in Kamerun ist der SE-Passat. Er trägt die südwinterliche Trockenheit ebenso wie den kalten Benguellastrom über den astronomischen Äquator hinüber. Die Südabweichung des klimatischen Äquators in Ostafrika wird durch den NE-Monsun bewirkt. Er führt die nordwinterliche Trockenheit südwärts über den astronomischen Äquator²¹⁾.

2. Oberguinea-Küste.

Die Stationen an der Guinea-Küste zeigen von Nordwesten her bis Liberia eine einheitliche Humiditätsperiode mit dem Maximum im Sommer, die sich ständig vergrößert, bis in MONROVIA 10 humide Monate erreicht werden. Dort aber beginnt sich das sommerliche Humiditätsmaximum zu gabeln. Doch wird die sommerliche kleine Trockenzeit zunächst noch nicht arid (äquatorialer Typ mit einer ariden Zeit). Man kann von Westen kommend an der Goldküste eine erstaunlich schnelle Abnahme der Niederschlagsmenge beobachten. Zwischen AXIM und ACCRA, d. i. auf eine Entfernung von etwa 200 km, nimmt der Jahresniederschlag von etwa 2100 mm auf 700 mm ab. Hand in Hand damit geht eine Verstärkung des Ariditätsgrades. Gleichzeitig sinkt die Zahl der humiden Monate von 10 auf 4. Diese Trockenheit (Auftreten des äquatorialen Typs mit zwei ariden Zeiten) ist vor allem an den Küstenteilen Oberguineas ausgebildet, die der SW-Monsun-Strömung etwa parallel gehen (an der Elfenbein-, Gold- und Togo-Küste). Der Monsunluftkörper wird dort nicht zur Kondensation gezwungen und gibt infolgedessen keinen Niederschlag ab. An manchen Stellen wehen die Winde sogar ablandig und erzeugen durch Wegnahme des Oberflächenwassers kalte Auftriebswasser, vor allem in der Hauptmonsunzeit im August, wo andere Stationen erhöhte Niederschläge verzeichnen. Unmittelbar im Hinterland der Küste jedoch, wo an Erhebungen der Monsun zum Aufsteigen gezwungen wird, wächst die Zahl der humiden Monate schlagartig. ABURI im Hinterland von ACCRA hat bereits wieder 10 humide Monate (die Station liegt in 500 bis 600 m Höhe auf einem Bergsporn (vgl. Atl. des Col. Franc.)). Die Zugehörigkeit zu drei verschiedenen ombrothermischen Klimatypen zeigen drei Stationen in Togo sehr deutlich (vgl. Abb. 6, Fig. 16).

Im Guineagolf zwischen Nigerdelta und Rio Muni ist an einem schmalen Küstenstreifen der äquatoriale Typ mit einer ariden Zeit ebenfalls abgewandelt, hier aber durch die starke Wirkung des auflandigen Monsuns

²¹⁾ Loewe [177], S. 55.

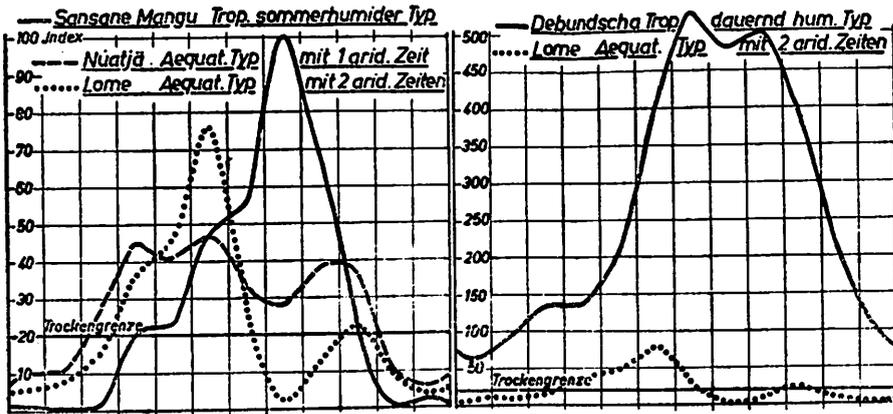


Abb. 6: Fig. 16: Humiditätsgang an den Stationen Sansane Mangu, Nuatjä und Lome
 Fig. 17: Humiditätsgang an den Stationen Debundscha und Lome

	Breite (N)		Länge (E)		Humide Monate							
	10° 21'	11° 00'	0° 30'	1° 10'	M	J	J	A	S	O	N	D
Sansane Mangu												
Monate:	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Index:	1	0,6	1,4	21	23	47	55	100	71	22	0,7	2,2
Nuatjä		6° 56'		1° 10'			8 humide Monate					
Monate:	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Index:	10	11	26	45	41	47	33	28	38	37	10	6
Debundscha		45° 45'	8° 59'				12 humide Monate					
Monate:	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Index:	64	93	135	135	205	400	526	480	498	386	200	100

Die Werte von Lome s. Abb. 3.

(Kamerunberg) zum dauernd humiden Typ, an wenigen Stationen landeinwärts auch zum sommerhumiden Typ. Die zweite kleine Trockenzeit im Sommer füllen monsunale Elevationsniederschläge völlig aus und liefern sogar das Maximum des Niederschlags, so daß der äquatoriale Gang vollends verwischt wird. Andererseits ist aber an dem genannten schmalen Küstenstreifen im Winter der „Harmattan“ kaum wirksam, wodurch auch die winterliche Trockenzeit mäßige Zenitalniederschläge aufweist. Die graphische Darstellung des Humiditätsganges von DEBUNDSCHA (Abb. 6, Fig. 17) zeigt deutlich die Zusammensetzung der Humiditätskurve aus zwei Komponenten: Zenitalniederschläge im Frühjahr und Herbst, die auch im Winter nicht ganz aussetzen, und das Maximum der Humidität durch monsunale Steigungsregen im Sommer. An der Kurve erkennt man deutlich das Einsetzen des Monsuns im Mai daran, daß das Frühjahrs-Zenitalmaximum vom März zum April bereits im Rückgang begriffen ist (zum Vergleich ist die Humiditätskurve von LOME mit eingezeichnet, wo die monsunalen Advektivregen kaum zur Auswirkung gelangen) (vgl. Abb. 6, Fig. 17).

3. Niederguinea und Kongobecken.

An der Gabun-Küste ist der äquatoriale Humiditätsgang mit der kleinen Trockenzeit deutlich ausgeprägt. Die Stationen EDEA (Kamerun), LOLODORF (Kamerun) und DIPIKAR (Kamerun) können als charakteristisch angeführt werden. Dabei zeigt EDEA nordhemisphärischen und DIPIKAR südhemisphärischen Gang, während LOLODORF dauernd humid ist.

Tabelle 5: Stationen in Gabun.

Station	Breite (N)	Länge (E)	humide Monate	aride Monate	Zahl der Monate		N Jahr mm	Humiditäts- Index
					h	a		
Edea	3° 48'	10° 08'	2—11	1, 12	10	2	2021	56
Lolodorf	3° 15'	10° 42'	1—12	—	12	0	2077	63
Dipikar	2° 13'	9° 54'	1—6, 8—12	7	11	1	2333	65

Nach dem Binnenlande zu nimmt die Zahl der humiden Monate zunächst ein wenig ab, im engeren Bereich des Äquators aber nicht unter 10. Auf engstem Raum fällt die aride Zeit je nach Lage der Stationen in den Nord- oder Südwinter. Im Kongobecken steigt schließlich die Humidität wieder auf 12 Monate an. Dieser Bereich ist im Gegensatz zum Gebiet mit 12 Regenmonaten nach der Karte 4 von H. Schmidt [207] auf das Innere des Beckens beschränkt und hat keine Verbindung bis zur Gabun-Küste. Die Verdunstung ist infolge der hohen Temperatur an einigen Stationen zwischen Kongobecken und der Küste so hoch, daß zur Zeit des Niederschlagsminimums ein oder zwei Monate arider Zustand eintritt, obwohl diese Monate im Sinne der Schmidt'schen Terminologie noch Regenmonate sind (Regenmonate > 50 mm N). Extrem arid sind diese Monate im engeren Bereich des Äquators freilich nicht. Vom zentralen Becken aus nimmt die Zahl der humiden Monate nach allen Seiten hin ab, am stärksten nach Ostafrika.

Tabelle 6: Stationen im Kongobecken.

Station	Breite (S)	Länge (E)	humide Monate	aride Monate	Zahl der Monate		N (Jahr) mm	Humiditäts- Index
					h	a		
Boende	0° 15'	20° 54'	1—12	—	12	0	2220	62
Lukulea	1° 05'	17° 11'	1—6, 8—12	7	11	1	1565	45
Lusambo	4° 58'	23° 26'	1—5, 8—12	6, 7	10	2	1763	51

An der Niederguinea-Küste nimmt die Dauer der humiden Zeit bis zur Kongomündung zunächst nur sehr langsam, dann aber rasch bis auf ganzjährige Humidität nördlich von MOSSAMEDES ab (vgl. Tab. 7).

Tabelle 7: Stationsreihe an der Niederguinea-Küste.

Station	Br ite	Länge (E)	humide Monate	aride Monate	Zahl der Monate		Typ
					h	a	
Libreville	0° 23' N	9° 26'	1—5, 9—12	6—8	9	3	Taet ₁
Majumba	3° 25' S	10° 38'	1—4, 9—12	5—8	8	4	Taet ₁
Banana	6° 00' S	12° 27'	2—5, 11—12	1, 6—10	6	6	Taet ₂
Benguella	12° 35' S	13° 25'	3, 4, 12	1, 2, 5—11	3	9	Taet ₂
Mossamedes	15° 12' S	12° 09'	—	1—12	0	12	Ttd

Die starke Zusammendrängung der Isohygromenen im Küstenhinterland von Angola deutet auf eine größere Zunahme der Niederschläge nach dem Innern hin, die mit einer Verlängerung der humiden Zeit verbunden ist. Die Stationen im Innern — leider ist das Stationsnetz in Angola sehr dürftig

— zeigen bis zu acht humide Monate. Sie haben durchweg den äquatorialen Typ mit einer ariden Zeit. Neben der Abnahme der Temperatur wirkt die erhöhte Kondensation im Gebirge positiv auf die Humidität²²⁾ (vgl. Tab. 8).

Tabelle 8: Stationsreihe von Benguella zum Hochland von Bihé.

Stationen	Höhe (m)	Länge (E)	humide Monate	aride Monate	Zahl der Monate		N (Jahr) mm	Typ
					h	a		
Benguella	20	13° 25'	3, 4, 12	1, 2, 5—11	3	9	365	Taet ₂
Cratengue	535	13° 45'	3, 4, 11, 12	1, 2, 5—10	4	8	486	Taet ₂
Cubal	885	14° 45'	1—5, 10—12	6—9	8	4	1564	Taet ₁
Cuma	1370	15° 03'	1—4, 10—12	5—9	7	5	1279	Taet ₁
Caconda	1640	15° 02'	1—4, 10—12	5—9	7	5	1533	Taet ₁

4. Ostafrika.

Der Osten der äquatorialen Humiditätstypen zeigt überaus komplizierte Verhältnisse. Sind die trockneren Gebiete klimatisch noch nicht so gut erfaßt (Somaliland), so erfreut sich das Tanganjika-Territorium einer um so besseren klimatischen Erforschung. Bei W. P a a p 1934 [191], sind bereits 299 Niederschlagsstationen mitgeteilt, die aus dem Material der ehemaligen Deutschen Seewarte noch ergänzt werden konnten.

Die großklimatischen Lagebedingungen Ostafrikas werden durch die Oberflächengestalt, das bewegte Relief, die Horst- und Grabenstruktur, die Aufragung einzelner Vulkanberge und die vielen Seen im einzelnen abgewandelt²³⁾. Die Niederschläge über dem flachen Land fallen in den Monsonwechselzeiten als Zenitalniederschläge, während zur Zeit der kräftigsten Ausbildung der Winde (SE-Passat, NE-Passat (Monson), SW-Monson) die Trockenzeiten herrschen.

Der weitaus arideste Teil des äquatorialen Afrika ist das Somaliland und das östliche Kenya. Das gesamte Gebiet gehört dem äquatorialen Typ mit zwei ariden Zeiten an, sofern nicht im äußersten Osten Gebiete dauernder Aridität Platz greifen. Die Niederschläge sind dort außerordentlich gering. Am KAP GUARDAFUI fallen 25 mm Jahresniederschlag. Das ganze mittlere Somaliland ist aber wesentlich feuchter, als man bisher annahm (vgl. Tab. 9). Nach Kenya zu wird die Küste immer feuchter, während im Binnenland weite Strecken bis zum Rudolfsee hin höchstens vier humide Monate zeigen. Erst der Anstieg zum südabessinischen Bergland läßt die Humiditätsperiode länger werden. Im westlichen Kenya steigt dann aber allgemein die Humiditätsdauer an. Lediglich zwischen höheren Aufragungen und in tiefen Grabensenken bleibt die Zahl der humiden Monate unter vier. So zeigt z. B. die Station KIHUIRO zwischen dem Usambara- und Pare-Gebirge bei einem Index von 7,6 und 267 mm N nur einen humiden Monat (März). Ist ein solch extremer Fall zwar selten, so mag er als Beispiel dafür genügen, daß auf kleinstem Raum größere klimatische Unterschiede bestehen können; denn die umgebenden Gebirge (Pare und Usam-

²²⁾ Marquardsen/Stahl [180], S. 71 ff.; Sieglerschmidt [214], S. 15 ff.

²³⁾ Zu den allgemeinen Zirkulationsverhältnissen von Ostafrika vgl. L o e w e [177], S. 60-61; P a a p [191] und die dort aufgeführte Literatur.

bara) zeichnen sich durch hohen Grad und lange Dauer der Humidität (bis zu 12 h. M.) aus. Gebiete mit viermonatiger und kürzerer Humiditätsdauer finden sich im Tanganjika-Territorium nur noch im abflußlosen Rumpfschollenland, in der Massai-Steppe und im Ruaha-Graben flächenhaft, sonst noch in örtlich tiefen, trockenen Senken der Grabenzonen (Rukwa-see).

Tabelle 9: Stationen im ariden Ostafrika.

Station	Breite	Länge (E)	humide Monate	aride Monate	Zahl der Monate		Typ
					h	a	
Somaliland:							
Kap Guardafui	11° 50' N	51° 16'	—	1—12	0	12	Ttd
Bender Cassim	11° 17' N	49° 11'	—	1—12	0	12	Ttd
Belett Uem	4° 44' N	45° 13'	4, 5, 10	1—3, 6—9, 11, 12	3	9	Taet ₂
Mahaddei	2° 58' N	45° 30'	4, 5, 11	1—3, 6—10, 12	3	9	Taet ₂
Mogadiscio	2° 07' N	45° 22'	4, 6, 7	1—3, 5, 8—12	3	9	Taet ₂
Kenya:							
Makindu	2° 23' S	36° 55'	3, 4, 11, 12	1, 2, 5—10	4	8	Taet ₂
Voi	3° 25' S	38° 34'	3, 4, 11, 12	1, 2, 5—10	4	8	Taet ₂
Moyale	3° 32' N	39° 13'	3—5, 10—12	1, 2, 6—9	6	6	Taet ₂
Tanganjika:							
Dodoma	6° 09' S	35° 30'	1—3, 12	4—11	4	8	Taet ₁
Mpapua	6° 21' S	36° 23'	1—3, 12	4—11	4	8	Taet ₁

Lange Dauer der humiden Zeit zeichnet vor allem die Stationen in Uganda aus. Die große Wasserfläche des Victoria-Sees wirkt förderlich auf die Humidität. Die Stationen am Nordwestrand des Sees sind höchstens in einem Monat arid. Sonst herrschen in Uganda im Durchschnitt 9 bis 11 humide Monate. Im Tanganjika-Territorium geht ihre Gesamtzahl wieder zurück, im allgemeinen auf 5 bis 6. Die Vulkankegel des Elgon, Kenya, Kilimandscharo und Meru, aber auch die anderen Hochländer, wie das Usambara- und Pare-Gebirge oder die von Uhehe und Mahenge, das Ulugurugebirge, die Rungwe-Vulkane u. a. m. haben mindestens sieben humide Monate, die sich bei günstiger Exposition bis zu ganzjähriger Humidität steigern. Am Südhang des Kilimandscharo²⁴⁾ tritt außer den beiden Humiditätsmaxima im April und November noch ein drittes ein, das durch Steigungsregen des SE-Passates hervorgerufen wird und auch an der Küste in Usambara festgestellt werden kann. Sehr deutlich ist die Verlängerung der humiden Zeit auch im Kondeland am Nordende des Nyassa-Sees durch Stationen zu erfassen (Muaya und Manow). Die Rungwe-Vulkane bilden eine scharfe Wetterscheide²⁵⁾. Die Zahl der humiden Monate sinkt nach dem Ruaha-Tal, sowie in Richtung auf den Rukwa-See bis auf vier und weniger humide Monate.

Tabelle 10: Stationen im humiden Ostafrika.

Station	Breite	Länge (E)	humide Monate	aride Monate	Zahl der Monate	
					h	a
Uganda						
Kampala	0° 19' N	32° 35'	2—12	1	11	1
Butifi	0° 39' N	30° 32'	2—12	1	11	1
Budo	0° 18' N	32° 29'	2—6, 8—12	1, 7	10	2
Kawezike	0° 11' N	32° 05'	2—6, 8—12	1, 7	10	2
Masaka	0° 21' S	31° 47'	2—5, 9—12	1, 6—8	8	4

²⁴⁾ Klute [168].

²⁵⁾ Frey [144], S. 33.

Station	Breite	Länge (E)	humide Monate	aride Monate	Zahl der Monate	
					h	a
<i>Tanganjika</i>						
Ngorongoro	3° 09' S	35° 36'	1—4, 11, 12	5—10	6	6
Tabora	5° 01' S	32° 49'	1—4, 11, 12	5—10	6	6
Daressalam	6° 59' S	38° 18'	1—5, 11, 12	6—10	7	5
Kilossa	6° 48' S	36° 50'	1—5, 11, 12	6—10	7	5
Lindi	10° 00' S	39° 44'	1—4, 12	5—11	5	7
Ssongea	10° 41' S	35° 39'	1—4, 12	5—11	5	7

Die angeführten Stationen von Uganda zeigen den Übergang vom nord-hemisphärischen zum südhemisphärischen Humiditätsgang sehr deutlich (s. KAMPALA und MASAKA).

c) Der südhemisphärisch sommer- und winterhumide Bereich.

Ebenso wie nach Norden schließt sich auch nach Süden an die äquatorialen Humiditätstypen ein Gebiet sommerlicher Humidität an. Die beiden äquatorialen Maxima rücken allmählich so eng zusammen, daß nur noch ein sommerliches Maximum erkennbar ist. Das gilt für fast ganz Südafrika. Nur an der Westküste dehnt sich nach Süden breiter werdend der Bereich dauernder Aridität aus, der im Kapland von einem kleinen winterhumiden und an der Südküste Afrikas von einem schmalen Streifen dauernd humiden Gebietes abgelöst wird.

Das gesamte sommerhumide Gebiet Afrikas erhält sommerliche Zenitalniederschläge, zu denen sich im Winter an den Südosthängen Steigungsniederschläge im Gefolge des aufsteigenden SE-Passates gesellen. Im übrigen steht die winterliche Trockenheit ganz unter der Herrschaft des ständig wehenden SE-Passates.

Zeichnete sich das Gebiet der äquatorialen ombrothermischen Klimatypen durch geringen Jahresgang der Temperatur aus (LULUABURG im Kongobecken hat eine Schwankung von nur 1°), so steigert sich dieser nach Süden bis zu 15° (KIMBERLEY, 10° Juli-, 25° Januarmittel²⁶⁾), wobei die Temperaturen in Südafrika wegen der größeren Höhe im allgemeinen niedriger sind als im nördlichen Afrika²⁷⁾. Dies bleibt nicht ohne Einfluß auf den Verdunstungshaushalt Südafrikas. Charakteristisch ist die große Ausdehnung der Flächen mit 5 und 6 humiden Monaten.

1. Südostafrikanisches Küstenland.

An der Mozambique-Küste dauert die humide Zeit an den in somalischer Richtung streichenden Küstenteilen (NE-SW) länger als ein halbes Jahr, da sie auf den SE-Passat stauend wirken. So herrschen im Bereich der Sambesi-Mündung 6 und 7 humide Monate. QUELIMANE, unweit der Mündung, hat sogar acht (von November bis Juni bei 1354 mm N). BEIRA weist von November bis Mai humiden Zustand auf (1436 mm N). Bleibt die Küste selbst bis nach Südafrika über sechs Monate humid, so tritt im Hinterland der Küste zwischen Sabi und dem unteren Limpopo in der Provinz Inhambane ein Gebiet mit weniger als halbjähriger Humidität auf (MAVUME

²⁶⁾ Schumann [209].

²⁷⁾ Sydow-Wagner, Method. Schulatlas S. 52.

und ZIMANE 4 h M). In der Delagoa-Bai bei LOURENCO MARQUEZ (5 h M) stößt dieses Gebiet sogar an die Küste. Von dort aus aber steigt die Zahl der humiden Monate nach Süden schnell bis auf 10 (örtlich 12 h M).

2. Südostafrikanisches Binnenland.

Obwohl Niederschlagsmenge und Temperaturverhältnisse sich vom Kongobecken südwärts stark ändern, werden weite Flächen des süd-hemisphärisch-sommerhumiden Bereichs von 6 und 5 humiden Monaten eingenommen, die erst in der Nordkalahari auf 4 absinken bis zu ganz-jähriger Aridität an der Westküste. Der Niederschlag nimmt zwischen der Isohygromene 7 (etwa in Katanga) und 5 (etwa am Limpopo) von 1200 auf 400 mm ab. Folgende vier Stationen, von denen die nördlichste und südlichste etwa $8\frac{1}{2}$ Breitengrade auseinanderliegen, zeigen bei 5 humiden Monaten eine Niederschlagsabnahme von 535 mm; während die Indizes der humiden Zeit stark variieren, zeichnet sich die Trockenzeit durch fast gleichmäßige niedrige Indizes aus (vgl. Tab. 11).

Tabelle 11: Stationen im südostafrikanischen Binnenland.

Station	Breite (S)	Länge (E)	humide Monate	aride Monate	Zahl der Monate		N (Jahr) mm	Humiditäts-Index	
					h	a		Trocken- zeit	Regen- zeit
Elisabethville	11° 39'	27° 28'	1—3, 11, 12	4—10	5	7	1145	4, 7	78
Brocken Hill	14° 24'	28° 24'	1—3, 11, 12	4—10	5	7	948	3, 0	68
Salisbury	17° 11'	31° 04'	1—3, 11, 12	4—10	5	7	803	5, 1	59
Bulawayo	20° 09'	28° 36'	1—3, 11, 12	4—10	5	7	610	3, 5	43

3. Südafrika.

In Südafrika verlaufen die Isohygromenen weitgehend meridional, eine kontinuierliche Abnahme der humiden Monate von Osten nach Westen anzeigend. Die Sommerhumidität ist in SW-Afrika etwas nach dem Herbst hin verschoben. WINDHUK ist von Januar bis März humid, REHOBOTH nur noch im Januar und Februar.

Vollzieht sich dort der Übergang zum kapländischen Winterregengebiet in einem Bereich sehr geringer Niederschläge ohne einen humiden Monat (z. B. in PORT NOLLOTH), so erfolgt er an der Südküste (zwischen PORT ELIZABETH und MOSSELBAY (Knysna-Forest)) mit Niederschlägen zu allen Jahreszeiten bei 12 humiden Monaten, wobei sich gleichzeitig das Maximum der Humidität in westlicher Richtung immer mehr in den Winter verschiebt. In MOSSELBAY hat sich bereits ein eindeutiges Wintermaximum durchgesetzt.

Die Sommerniederschläge nehmen schließlich so stark ab, daß sich ein eindeutig winterhumides Gebiet im Kapland herausbildet. Das NADELKAP hat 4 humide Monate im Winter (Mai bis August), KAPSTADT an der Westseite dagegen 6 (April bis September). Am Tafelberg wird auf der Südseite bei KIRSTENBOSCH durch dauernde Kondensation (Tafeltuch) sogar ganzjährige Humidität erreicht. Um den raschen Wechsel von langer und kurzer Dauer der Humidität in den Kapalten zu verdeutlichen, ist eine Stationsreihe etwa auf dem 21. Längengrad in einer Tabelle festgehalten (vgl. Tab. 12 und Abb. 11, Profil Nr. 3, S. 81).

Tabelle 12: Stationsprofil durch die Kapfalten.

Station	Höhe (m)	Breite (S)	Länge (E)	humide Monate	aride Monate	Anzahl der Monate	
						h	a
Riversdale	ca. 66	34° 06'	21° 16'	3—5	1, 2, 6—12	3	9
Swellendam	166	34° 01'	20° 27'	1—12	—	12	0
Calitzdorp	250	33° 32'	21° 42'	—	1—12	0	12
Ladysmith	620	33° 29'	21° 11'	—	1—12	0	12
Laingsburg	720	33° 12'	20° 54'	—	1—12	0	12
Southerland	1580	32° 25'	20° 42'	5,6	1—4, 7—17	2	10
Fraserburg	1400	31° 55'	21° 31'	—	1—12	0	12
Williston	1200	31° 21'	20° 55'	—	1—12	0	12

Eine zweite Profilerie zeigt die kontinuierliche Abnahme der humiden Monate von der Ost- zur Westküste Südafrikas (vgl. Tab. 13 und Abb. 11, Profil Nr. 2)²⁸⁾. Lediglich der Steilanstieg zum Basutoland und besonders gut exponierte Hänge zeigen eine plötzliche Erhöhung der Zahl der humiden Monate.

Tabelle 13: Stationsprofil von der Ost- zur Westküste Südafrikas.

Station	Höhe (m)	Breite (S)	Länge (E)	humide Monate	aride Monate	Zahl der Monate		N (Jahr)
						h	a	
Stanger	66	29° 19'	31° 17'	1—5, 9—12	6—8	9	3	
Eshowe	452	28° 53'	31° 27'	1—5, 8—12	6, 7	10	2	1560
Creytown	800	29° 04'	30° 36'	1—4, 9—12	5—8	8	4	1012
Dundee	1400	28° 11'	30° 15'	1—4, 10—12	5—9	7	5	842
Weenen	950	28° 51'	30° 05'	1—3, 10—12	4—9	6	6	686
Maseru	1800	29° 19'	27° 29'	1—4, 10—12	5—9	7	5	740
Thaba Nschu	1660	29° 13'	26° 51'	1—4, 10—12	5—9	7	5	600
Bloemfontein	—	29° 07'	26° 12'	1—4, 11, 12	5—10	6	6	548
Kimberley	—	28° 44'	24° 40'	1—3	4—12	3	9	404
Griquatown	—	28° 51'	23° 15'	2,3	1, 4—12	2	10	325
Prieska	1000	29° 39'	22° 45'	3	1, 2, 4—12	1	11	244
Kenhardt	900	29° 21'	21° 09'	—	1—12	0	12	147
Pella	500	29° 02'	19° 09'	—	1—12	0	12	88
Porth Nolloth	8	29° 14'	16° 51'	—	1—12	0	12	63

Die Zahl der humiden Monate dürfte in den trockensten Teilen des Tugela-Tales noch weiter zurückgehen, da die Vegetation dort an einigen Stellen sogar halbwüstenhaften Charakter annimmt²⁹⁾.

4. Madagaskar.

Madagaskar gehört zum größten Teil in den südhemisphärisch-sommerhumiden Bereich. Der SE-Passat beherrscht das Klima der Insel, so daß eine aride Zeit einer humiden mit Zenitalniederschlägen gegenübersteht. Die Ostseite Madagaskars, die ihren Steilabfall dem Passat zukehrt, erhält durch diesen Steigungsniederschläge das ganze Jahr über, so daß die Küste teilweise ganzjährig humid ist. Auf einen schmalen Streifen des dauernd humiden Tropentyps folgt ein ebensolcher des äquatorialen Typs mit einer ariden Zeit. Die Niederschläge sind an der Ostküste außerordentlich hoch

²⁸⁾ Das Vegetationsprofil ist im wesentlichen nach C. T r o l l [219], Tafel 9, entworfen.

²⁹⁾ T r o l l [219].

und überschreiten nicht selten 3000 mm (MAROANSETRA 3849 mm). Die Anzahl der humiden Monate nimmt nach Westen hin immer mehr ab. Die Fläche 6 nimmt den weitesten Raum auf der Insel ein. Der trockenste Teil ist der Südwesten der Insel mit 3 humiden Monaten. Im Norden erscheinen die Feucht- und Trockenseite der Insel vertauscht (vgl. Tab. 14, Stationen DIEGO SUAREZ und AMBANJA/MAROMANDIA).

Tabelle 14: Stationen auf Madagaskar.

Station	Höhe (m)	Breite (S)	Länge (E)	humide Monate	aride Monate	Zahl der Monate		N (Jahr) mm	Typ
						h	a		
<i>Ostküste:</i>									
Maroansetra	2	15° 28'	49° 45'	1—12	—	12	0	3849	Tfd
Tamatave	5	18° 09'	49° 22'	1—12	—	12	0	3325	Tfd
Vatomandry	9	19° 20'	48° 56'	1—12	—	12	0	2957	Tfd
Farafangana	3	22° 49'	47° 47'	1—12	—	12	0	3169	Tfd
<i>Hochfläche:</i>									
Tananarivo	1375	18° 55'	47° 33'	1—3, 10—12	4—9	6	6	1360	Tfso
<i>Südküste:</i>									
Tsiombe	50	25° 16'	45° 26'	1, 2, 12	3—11	3	9		Tfso
<i>Südwestküste:</i>									
Tulear	5	23° 20'	43° 40'	1, 2, 12	3—11	3	9	431	Tfso
<i>Nördl. Westküste:</i>									
Ambanja	75	13° 43'	28° 26'	1—6, 10—12	7—9	9	3		Tfso
Maromandia	38	14° 11'	48° 15'	1—4, 10—12	5—9	7	5		Tfso
<i>Nordküste:</i>									
Diego Suarez	33	12° 17'	49° 17'	1—4, 12	5—11	5	7	893	Tfso

d) Der winterhumide Bereich Nordafrikas.

Die Grenze zwischen dem Sommer- und Winterregengebiet läuft in Nordafrika durch ein annähernd regenloses Gebiet, die Sahara. Etwa der nördliche Wendekreis ist die Grenze zwischen vorherrschendem Winter- und vorherrschendem Sommerregen, obwohl die spärlichen Stationsmessungen nur eine angenäherte Grenzziehung zulassen³⁰⁾. Das Maximum des Niederschlags ist aber nicht unbedingt an die Mittwintermonate gebunden. So hat gerade das Atlas-Bergland seine Hauptniederschläge und damit das Humiditätsmaximum im Frühjahr, obwohl eigentlich bei dem ozeanischen Winterregentyp der Herbst feuchter sein müßte³¹⁾.

1. Marokko.

Ein Blick auf die Isohygromenenkarte zeigt zunächst eine verhältnismäßig geringe Dauer der humiden Zeit an der Westküste Marokkos, die außer an der Nordspitze nicht mehr als fünf humide Monate erreicht und im allgemeinen von November bis März dauert, so z. B. in CASABLANCA und AIN JORRA (34°6'N und 6°22'W). Von diesen beiden Stationen nach Süden erfolgt eine rasche Abnahme der humiden Monate (AGADIR 2 h M im Dezember und Januar; KAP JUBY ohne h M bei 110 mm N). Dauer und Grad der Humidität werden an der atlantischen Küste in der Hauptsache durch den relativ kalten Kanarenstrom in geringen Ausmaßen gehalten³²⁾.

³⁰⁾ H. Schiffers, Erdk. V, 1951.

³¹⁾ Eckardt [119]; Loewe [177], S. 16; Knoch [169].

³²⁾ Fischer [138].

Im Binnenland sind MARRAKESCH, MECHRA BEN ABU (32°35'N, 7°45'W) und SIDI BEN NOUR (32°39'N und 8°25'W) nur während drei Wintermonaten humid. Diese Zone wurde bereits als niederschlagsarme Zone von T. H. Fischer 1900 [138] auf Grund morphologischer und vegetationskundlicher Anzeichen erkannt. Mit Annäherung an den Atlas jedoch steigt die Dauer der humiden Zeit infolge der Steigungsniederschläge und des Sinkens der Temperatur wieder an (vgl. Tab. 15).

Tabelle 15: Stationen im marokkanischen Atlas.

Station	Höhe	Breite (N)	Länge (W)	humide Monate	aride Monate	Zahl der Monate	
						h	a
Seffrou	850	33° 19'	4° 50'	1—5, 10—12	6—9	8	4
Ain Leuh	1339	33° 18'	5° 22'	1—6, 10—12	7—9	9	3
Ito	1461	33° 31'	5° 27'	1—6, 10—12	7—9	9	3

Noch feuchter ist die Nordspitze Marokkos (über 800 mm N)³³⁾, wo KAP SPARTEL und TANGER 8 humide Monate von Oktober bis Mai aufweisen. Die mittelmeerische Nordküste Marokkos zeigt zunächst einen sehr schnellen Rückgang der Humidität bis zur Moulouia-Mündung (MELILLA 5 h M, November bis März; die CHAFARINAS-Inseln 1 h M, November bei 285 mm N).

2. Algerien und Tunis.

Von TENES steigt nach Osten die Zahl der humiden Monate wieder über 6 an, vor allem am Fuße der nahe am Meer gelegenen beträchtlichen Erhebungen z. B. im „Atlas mitidien“, in den Djurdjura-Ketten oder in der Khroumir-Kette, aber auch an der Küste selbst (vgl. Tab. 16).

Tabelle 16: Stationen in Algerien.

Station	Breite (N)	Länge	humide Monate	aride Monate	Zahl der Monate		Lage
					h	a	
Kap Falcon	35° 46'	0° 48' W	1, 3, 11, 12	2, 4—10	4	8	Küste
Oran	35° 44'	0° 39' W	1—3, 11, 12	4—10	5	7	Küste
Tenes	36° 31'	1° 20' E	1—4, 11, 12	5—10	6	6	Küste
Blida	36° 28'	2° 50' E	1—5, 10—12	6—9	8	4	Atl. Mitidien
Tizi Ouzou	36° 43'	4° 03' E	1—5, 10—12	6—9	8	4	Djurdjura
Guelma	36° 28'	7° 28' E	1—5, 10—12	6—9	8	4	Khroumir
Djidjelli	36° 50'	3° 27' E	1—5, 10—12	6—9	8	4	Küste

In den Schotthochebenen ist die Zahl der humiden Monate sehr gering (EL ARICHA 34°12'N, 1°16'W, 1 h M, April). Der AntiAtlas in Südmarokko ist ohne humiden Monat. Im Saharaatlas Algeriens dagegen wird in einigen Winter- und Frühlingsmonaten humider Zustand erreicht (GERVILLE 1305 m, 33°45'N, 1°01'E, 6 h M; AFLOU 1406 m, 34°07'N, 2°08'E 3 h M).

In Tunesien nimmt die Zahl der humiden Monate von Nordwesten nach Südosten ab. Der Hauptniederschlag wird durch das Khroumir-Gebirge abgefangen. Im Lee nehmen die humiden Monate zunächst langsam, dann aber schnell bis zur völligen Aridität ab (vgl. Tab. 17).

³³⁾ Grandidier [149].

Tabelle 17: Stationsreihe in Tunesien.

Station	Breite (N)	Länge (E)	humide Monate	aride Monate	Zahl der Monate	
					h	a
Tabarca	36° 58'	8° 46'	1—4, 9—12	5—8	8	4
Ain Draham	36° 48'	8° 42'	1—5, 10—12	6—9	8	4
Souk el Arba	36° 30'	8° 48'	1—5, 11, 12	6—10	7	5
Mactar	35° 41'	9° 09'	1—4, 9, 10, 12	5—8, 11	7	5
Kairouan	35° 40'	10° 07'	3, 4, 11	1, 2, 5—10, 12	3	9
Sfax	34° 44'	10° 48'	—	1—12	0	12

Das dauernd aride Gebiet der tunesischen Schotts tritt bei SFAX und GABES an das Mittelmeer (kleine Syrte).

3. Nordafrikanische Küste des östlichen Mittelmeeres und Sahara.

Das östliche Mittelmeergebiet hat das Humiditätsmaximum im Winter (Dezember und Januar). Die günstigste Lage zum Niederschlag und zur Temperatur hat TRIPOLIS, das daher auch die meisten humiden Monate aufweist (vgl. Tab. 18). Im Hinterland von Tripolis, auf der Landstufe des Djebel Nefusa, erhalten mehrere Stationen geringe Steigungsregen und zeigen deshalb mehrere Monate humiden Zustand (vgl. Tab. 18). Sonst ist Tripolitanien ganzjährig arid. Erst das Plateau von Barka in der Cyrenaika trägt wieder feuchteren Charakter (vgl. Tab. 18).

Tabelle 18: Stationen in Libyen.

Station	Breite (N)	Länge (E)	humide Monate	aride Monate	Zahl der Monate	
					h	a
Küste:						
Tripolis	32° 54'	13° 10'	1, 2, 11, 12	3—10	4	8
Homs	32° 39'	14° 16'	1, 11, 12	2—10	3	9
Misurata	32° 22'	15° 06'	1, 11	2—10, 12	2	10
Landstufe des Djebel Nefusa:						
Sidi Mesri	32° 52'	13° 12'	1, 2, 11, 12	3—10	4	8
Zauia	32° 45'	12° 44'	1, 3, 12	2, 4—11	3	9
Azizia	32° 31'	13° 01'	1, 12	2—11	2	10
Barka-Plateau:						
Cirene	32° 49'	21° 51'	1—3, 11, 12	4—10	5	7
Bengasi	32° 07'	20° 02'	1, 2, 11, 12	3—10	4	8
Derna	32° 48'	22° 39'	1, 2, 11, 12	3—10	4	8

Weiter nach Osten zeigen nur noch günstige Standorte höchstens für die Dauer von einem Monat Humidität, BARDIA und MARSJA MATRUK im Januar, SIDI BARANI im Februar. Im Nildelta ist lediglich ALEXANDRIA im Januar und Februar humid, das unmittelbare Hinterland aber wieder ganzjährig arid.

Im gesamten Bereich der Sahara findet sich kein humider Zustand für die Dauer eines Monats mehr, auch nicht im Ahaggar-Gebirge, soweit dies aus der spärlichen Stationszahl hervorgeht. Die Niederschläge fallen nur noch episodisch.

e) Zusammenfassung.

Die Karte der Zahl der humiden Monate läßt auf den ersten Blick das Vorherrschen der vorwiegend ariden gegenüber den humiden Gebieten er-

kennen. Die Bereiche von 7 bis 12 ariden Monaten überwiegen die von 7 bis 12 humiden recht beträchtlich.

So fällt zunächst auf der Isohygromenenkarte das sehr große Gebiet ganzjähriger Aridität im Norden Afrikas auf, das vor allem durch das weite Eingreifen des Mittelmeers ins Binnenland und durch die mächtige Ausdehnung der asiatischen Kontinentalmasse im Nordosten Afrikas mitbedingt ist. Im Gegensatz dazu ist die lange Dauer der humiden Zeit an der Guineaküste dem Auftreten des Monsunphänomens zuzuschreiben³⁴⁾.

Im allgemeinen aber ist die regelmäßige Anordnung der tropischen Klimagürtel dieses mustergültigen Tropenkontinents in der Isohygromenenkarte nicht zu verkennen.

In Südafrika drücken die mehr meridional verlaufenden Linien gleicher humider Monate den Gegensatz der ariden Westküste (durch ablandigen Passat, kalte Benguella-Strömung und Auftriebswasser bedingt) zur humiden Ostküste (passatische Steigungsniederschläge) deutlich aus.

An vielen Stellen schaltet sich auch die Oberflächengestalt als Hauptursache des Isohygromenenverlaufs ein. So geht deren starke Bündelung und der rasche Wechsel der Zahl der humiden Monate in großen Teilen Ostafrikas, im Kapfaltengebiet, in Angola, im abessinischen Bergland und in den Bergketten von Madagaskar auf die Wirkungen des Reliefs zurück.

Die Temperatur tritt als differenzierender Faktor in den äquatorialen Flachländern wegen weitgehender Isothermie sehr in den Hintergrund, da sie die Humidität gleichmäßig beeinflusst. Mit zunehmender Breite aber gewinnt sie durch ihre allgemeine Abnahme und die wechselnde Jahresamplitude an Bedeutung. Ihre Abnahme mit der Meereshöhe steigert in Gebieten größerer Höhenlage die Zahl der humiden Monate beträchtlich. Sie prägt vor allem einen charakteristischen Gegensatz zwischen Hoch- und Niederafrika. Eine Gegenüberstellung der Humiditätsdiagramme von SOKOTO in Nigerien und SALISBURY in Südrhodesien zeigt dies deutlich (Abb. 7, Fig. 18). Der Gang der Humidität ist an beiden Stationen ähnlich und zeugt von der klimatischen Spiegelbildlichkeit der beiden Hemisphären. Die Monatsmittel der Temperaturen sind aber sehr verschieden (in SOKOTO zwischen 24 und 33 °C, in SALISBURY zwischen 14 und 22 °C. Bei so niedrigen Temperaturen wie in SALISBURY wäre in SOKOTO ein Monat mehr humid (vgl. Abb. 7, Fig. 18, dazu Tab. 19).

Tabelle 19: Niederschlag und Temperatur in Sokoto und Salisbury.

Station	Höhe (m)	Breite	Länge (E)	humide Monate		aride Monate				Zahl der Monate			
				h	a	h	a	h	a				
Sokoto	348	13° 02' N	5° 15'	6—9	1—5, 10—12	4	8						
Salisbury	1465	17° 11' S	31° 04'	1—3, 11, 12	4—10	5	7						
Sokoto													
Monate	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Jahr
Niederschlagsmenge (mm)	0,3	—	2	10	59	103	158	230	132	15	—	—	709
Temperatur (in °C)	24	27	30	33	32	30	28	27	28	29	28	25	28,4
Salisbury													
Niederschlagsmenge (mm)	181	178	112	20	12	—	—	5	7	16	88	148	813
Temperatur (in °C)	21	21	19	19	17	15	14	16	20	22	22	21	18,7

³⁴⁾ Eckardt [11; 12; 119; 120].

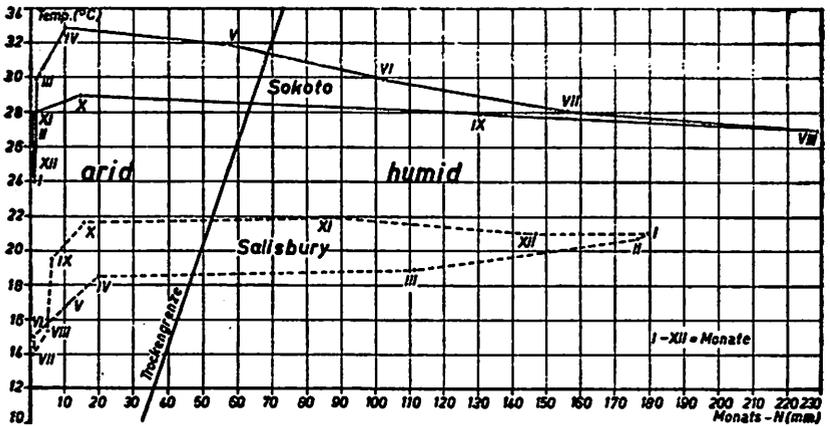


Abb. 7: Fig. 18: Humiditätsdiagramm der Stationen Sokoto und Salisbury

In ihren Grundzügen gibt schließlich die Isohygromenenkarte weitgehend das von der großräumigen Zirkulation — die vor allem durch Lage, Konfiguration und Oberflächengestalt des Kontinents und durch den Einfluß der umgebenden Meere ihre besondere Ausprägung erhält — geformte Klimabild wieder.

Neuerlich hat H. Flohn in mehreren Arbeiten (Erdkunde 1950, S. 141 bis 162 und Ber. d. Dt. Wetterdienstes in der US-Zone Nr. 18) neue Anschauungen über die allgemeine Zirkulation der Atmosphäre dargelegt. In seiner die dreidimensionale Struktur der Windsysteme aufweisenden dynamischen Erklärung der planetarischen Zirkulation wäre der sommerliche afrikanische SW-Monsun an der Guineaküste als leicht nach Norden verschobene äquatoriale Westwindströmung aufzufassen und die Entwicklung der Zenitalregen auf das Vorhandensein der innertropischen Konvergenzzone (ITC) zurückzuführen. Schließlich muß dann das Wandern des Maximums der Zenitalniederschläge vom Sudan im Nordsommer nach dem mittleren Südafrika im Südsommer und umgekehrt als jahreszeitliches Verlagern der genannten innertropischen feuchtlabilen Konvergenzzone im Gefolge des wechselnden Sonnenstandes angesehen werden.

f) Zusammenfassender Vergleich der Isohygromenen mit den Niederschlagsverhältnissen in Afrika.

Es bestehen natürlich enge Beziehungen zwischen der Zahl der humiden Monate und den Niederschlagsverhältnissen, sowohl der Jahresmenge als auch dem jährlichen Gang.

Die Darstellung der Niederschlagsverteilung ist für Afrika bereits öfters versucht worden. An älteren Darstellungen liegt eine Niederschlagskarte von Frauenberger aus dem Jahre 1906 [143] und eine ebensolche von Knox aus dem Jahre 1911 [171] vor. Beide Karten zeigen sich aber bei weitem nicht dem jetzigen Beobachtungsstand gewachsen. Auf 655 Stationsbeobachtungen beruht die heute meist noch benutzte und oft abgedruckte Karte von F. Loewe [177] im Originalmaßstab 1 : 7,5 Mill. Die

neueste Darstellung der Niederschlagsverhältnisse gibt die Klimakarte A der Wirtschaftskarte von Mittel- und Südafrika (ed. Kolonialpolitisches Amt 1942) wieder, die auf Grund von weitaus umfangreichem Material in der Deutschen Seewarte bearbeitet wurde. Eine großmaßstäbliche Niederschlagskarte für ganz Afrika, die dort in Arbeit genommen war, konnte leider durch die Kriegs- und Nachkriegsereignisse bisher nicht fertiggestellt werden.

Die Niederschlagsmenge ist bislang immer für die Begrenzung der vegetationskundlichen Landschaftseinheiten herangezogen worden, wie überhaupt für die Bestimmung des Grades der Trockenheit, wenn auch meist im gleichen Zusammenhang auf die Wichtigkeit der Dauer der Regenzeit hingewiesen wurde³⁵⁾. Grundsätzlich ist dabei festzustellen, daß gerade in den Tropen Regenmenge und Regendauer durch das streng periodische Auftreten des Niederschlags gleichsinnig wirken, d. h., daß bei Abnahme der einen auch eine Kürzung der letzteren eintritt. Ähnlich verhalten sich auch Grad und Dauer der Humidität, bei der allerdings die Temperatur als wesentlicher Faktor der Verdunstung mit wirksam ist.

Für das tropische Afrika konnten etwa folgende Beziehungen zwischen der Dauer der humiden Zeit und der Niederschlagsmenge festgestellt werden:

1500—1600 mm N . . .	9 humide Monate,
1000—1100 mm N . . .	6 humide Monate,
750 mm N . . .	5 humide Monate,
400— 500 mm N . . .	4 humide Monate,
300— 400 mm N . . .	3 humide Monate,
200— 300 mm N . . .	2 humide Monate.

Dieser rohe Vergleich für das tropische Afrika gilt vor allem in den Gebieten weitgehend, in denen das vom Sonnenstand beherrschte Zirkulationssystem unverändert entwickelt ist. Dieses gleichsinnige Verhalten von Dauer der humiden Zeit und Niederschlagsmenge ist aber an einigen Stellen in Afrika gestört:

1. Im Guineabusen und an der westlichen Guineaküste besteht trotz Niederschlagsmengen bis zu 4000 mm (FREETOWN hat 3700 mm bei 4 ariden Monaten) eine aride Zeit von mehreren Monaten. Die starken monsunalen Niederschläge fallen in die ohnehin niederschlagsreichen Sommermonate.
2. Im oberen Nilgebiet liegen die Verhältnisse umgekehrt. Die Niederschlagsmenge (unter 1000 mm) fällt im Zeitraum von 6 bis 7 humiden Monaten. Die Regenergiebigkeit hat in dem sehr weit vom regenbringenden Meereseinfluß abgelegenen Gebiet gegenüber den gleichen Breiten im mittleren und westlichen Sudan nachgelassen. Der Humiditätsindex der feuchten Monate ist sehr klein. Die ariden Monate aber, noch verstärkt durch die außerordentlich hohen Temperaturen, sind extrem arid.
3. Im südlichen Mittelafraka fällt ein großes Areal von 5 und 6 humiden Monaten zwischen der Lundaschwelle und dem Limpopo auf. Die aride Zeit erweist sich, wie bereits gezeigt, als sehr einheitlich. Die Niederschlagsmenge nimmt in diesem Gebiet von Norden nach Süden von 1200 auf etwa 400 mm ab. Für die Humiditätsverhältnisse spielt in

³⁵⁾ Hettner, A. Vergleichende Länderkunde Bd. IV, S. 22.

diesem Bereich die Temperatur zweifellos eine erhöhte Rolle (vgl. Abschn. A, Kap. IIe und Abschn. B, Kap. IIa 3).

Nach den Subtropen hin genügen wegen der Abnahme der Temperatur immer geringere Niederschläge zur Humidität eines Monats. Für das randtropische, sommerhumide Südafrika bestehen etwa folgende Beziehungen:

1000—1100 mm N . . .	9 humide Monate,
600— 750 mm N . . .	6 humide Monate,
400— 500 mm N . . .	5 humide Monate.

In den winterhumiden, subtropischen Gebieten (Kapland, Nordafrika) bewirken die sehr niedrigen Temperaturen während der winterlichen Regenzeit noch geringere Verdunstung:

500 mm N . . .	6 humide Monate,
350 mm N . . .	4 humide Monate.

Neben den Karten der Niederschlagsverteilung, von denen es freilich für fast alle Teilgebiete Afrikas eine ganze Anzahl gibt (vgl. Lit.-Verz.), ist für ganz Afrika von H. Schmidt [207], Karte 4, auch eine Karte der Niederschlagsdauer entworfen worden. Er bezeichnet einen Monat mit mehr als 50 mm N als sogenannten „Regenmonat“. Seine Karte hat mit der Karte der Zahl der humiden Monate einen verwandten Grundgedanken. In der Tat ist etwa 50 mm die kritische Niederschlagsmenge, die in vielen Fällen bei einer Temperatur von etwa 20° die Grenze zwischen humiden und ariden Monaten darstellt. Aber bei sehr hoher Verdunstung, etwa in den inneren Tropen, ist u. U. ein Monat mit 70 mm noch arid, wohingegen bei geringerer Verdunstung, etwa in den winterhumiden Subtropen, ein Monat mit 35 mm N noch humid sein kann. Infolgedessen muß die Karte der Niederschlagsdauer von der Karte der Humiditätsdauer vielfach variieren. Gleichzeitig zeigt sich aber auch durch die Verbesserung des Stationsnetzes eine erheblich andere Linienführung beider Karten (vgl. Taf. 1 und Karte 4 in [207]).

III. Die Zahl der humiden bzw. ariden Monate in Südamerika.

a) Das andine tropische Südamerika.

Bei der folgenden Betrachtung der Zahl der humiden bzw. ariden Monate in Südamerika würde man auf außerordentliche Schwierigkeiten stoßen, wollte man nach der gewonnenen Typeneinteilung (ombrothermische Klimate) vorgehen, wie es in Afrika sehr zweckmäßig erschien. Die klimatische Differentiation, vor allem in den Andenländern, rechtfertigt in Südamerika ein regionales Vorgehen.

1. Venezuela.

Die Nordküste in Venezuela zeichnet sich durch große Trockenheit mit wenig humiden Monaten aus. Die sehr hohen Temperaturen verstärken die Aridität. LA GUAYRA (mit dem Beinamen „el infierno de Venezuela“) hat eine Jahresmitteltemperatur von 27° C mit einer mittleren Schwankung von 3,4°³⁶⁾. Nur der November und Dezember sind humid, während September und Oktober wegen der hohen Temperaturen die Grenze zur Hu-

³⁶⁾ Gonzales [253], S. 82 u. 96.

midität gerade noch erreichen. Eine ähnlich geringe Zahl von humiden Monaten herrscht in LAS PIEDRAS auf der Halbinsel Paraguaná, in CORO (Humiditätsindex 10), auf der Halbinsel Araya und an der venezolanischen Küste zwischen 64 und 66° W (vgl. Stationen CUMANA und BARCELONA, Tab. 20). Die Trockenheit ist aber im allgemeinen auf einen sehr schmalen Küstenstreifen beschränkt. Lediglich in der Lagune von Maracaibo greift sie weiter ins Binnenland. Auch in dem östlich von der Lagune liegenden Bergland von Coro überwiegen die ariden Monate noch die humiden (vgl. Tab. 20, Stationen CARORA und BARQUISIMETO). Die bisher genannten Stationen gehören bereits drei verschiedenen ombrothermischen Klimatypen (Humiditätstypen) an (vgl. Tab. 20 und Taf. 1). Der tropisch-sommerhumide Typ reicht bei den Stationen CUMANA und BARCELONA bis zur Küste (vgl. Abb. 4, Fig. 11; zum Vergleich ist die Station FORT LAMY im Sudan mit eingetragen). In LA GUAYRA, LAS PIEDRAS und CORO dagegen herrscht, wie auf den Venezuela vorgelagerten Inseln (Aruba, Bonaire, Curaçao) Winterhumidität von Oktober bis Dezember oder Januar (tropisch-winterhumider Typ). Das Bergland von Carora und Barquisimeto und die trockensten Teile am Golf von Maracaibo zeigen den äquatorialen Typ mit zwei ariden Zeiten (vgl. Abb. 4, Fig. 10). In den feuchteren Gebieten stellt sich dann im westlichen Venezuela der äquatoriale Typ mit einer ariden Zeit ein, der bei PUERTO CABELLO an den nord-südstreichenden Teil der venezolanischen Küste vordringt. PUERTO CABELLO weist acht humide Monate auf (vgl. auch Station TUCACAS, Tab. 20). Besonders stark ist an beiden genannten Stationen das winterliche Humiditätsmaximum ausgebildet, das durch die Stauwirkung der Küste gegenüber dem NE-Passat hervorgerufen wird. Die sommerlichen Zenitalmaxima fehlen aber nicht. Die Niederschlagskarten von F r a n z e [247] und K n o c h [277] verzeichnen an dem nord-südstreichenden Teil der venezolanischen Küste weniger als 500 mm N. Die tatsächliche Niederschlagshöhe liegt aber um 1000 mm (PUERTO CABELLO 953 mm, TUCACAS 1054 mm³⁷⁾).

Der Anstieg zum Gebirge bringt eine sofortige Verlängerung der humiden Zeit außer einer Erhöhung des Humiditätsgrades mit sich (vgl. Stationen LA GUAYRA und CARACAS in Tab. 20; Abb. 9, Fig. 20; Abb. 12, Profil 5). Wächst die Zahl der humiden Monate im östlichen Venezuela durch das steile Auftragen der Gebirge von der Küste an sehr schnell, so vollzieht sich der Übergang im Becken von Maracaibo in Richtung auf die Sierra de Mérida langsamer. An der Südseite der venezolanischen Cordillere vermindert sich die Zahl der humiden Monate wieder, sinkt aber in den Llanos des Orinoco kaum unter 6 (vgl. Abb. 12, Profil 5).

Tabelle 20: Stationen in Venezuela.

Station	Höhe (m)	Breite (N)	Länge (W)	humide Monate	aride Monate	Zahl der Monate		N (Jahr) mm	Typ
						h	a		
La Guayra	0	10° 37'	67° 07'	11, 12	1—10	2	10	567	Tfwi
Las Piedras	10	11° 42'	70° 14'	10, 11	1—9, 12	2	10	362	Tfwi
Coro	3	11° 25'	69° 41'	10, 11	1—9, 12	2	10	434	Tfwi
Cumaná	3	10° 28'	64° 11'	7—8	1—6, 9—12	2	10	390	Tfso
Barcelona	3	10° 08'	44° 41'	6—10	1—5, 11—12	5	7	653	Tfso
Barquisimeto	566	10° 04'	69° 19'	6, 7, 10, 11	1—5, 8, 9, 12	4	8	482	Taet ₂
Tucacas	4	10° 47'	68° 20'	4, 6—12	1—3, 5	8	4	1054	Taet ₂
Caracas	1043	10° 36'	66° 56'	5—12	1—4	8	4	808	Taet ₁
Mérida	1630	8° 36'	71° 09'	1, 3—12	2	11	1	1821	Taet ₁

³⁷⁾ Gonzales [253].

2. Kolumbien.

Für Kolumbien konnte bei der Zeichnung der Karte auf verhältnismäßig reichhaltiges Beobachtungsmaterial zurückgegriffen werden, das von R. D. Schmidt [320] zusammengestellt und zu einer Niederschlagskarte verarbeitet wurde. Für die Temperaturverhältnisse stand mir eine Karte von R. Schröder zur Verfügung, die nach den neuesten Veröffentlichungen des kolumbianischen Wetterdienstes entworfen ist [328] (s. Beiträge in diesem Heft).

Gewöhnlich geht man bei Klima- und Vegetationsschilderungen der Kor-dilleren-Gebiete von der vertikalen Stufung nach der Temperatur aus, indem man in *tierra caliente*, *tierra templada*, *tierra fria* und *tierra helada* (Páramo) gliedert. Der Einfluß der Temperatur ist gemäß der Höhenstufung entsprechend groß bei weitgehend jahreszeitlicher Isothermie. Nach der regionalen Gliederung gehört Kolumbien drei ombro-thermischen Klimatypen an (vgl. Taf. 1 und Kap. I). Dabei trägt der äqua-toriale Typ mit einer ariden Zeit sowohl nord- als auch südhemisphärischen Charakter, da der klimatische Äquator durch Kolumbien zieht³⁸⁾. Nur die winterliche Trockenzeit hat aride Monate, während die kleinen Trockenzeiten (sowohl der Veranillo de San Juan bei nordhemisphärischer, wie der Veranillo del Niño bei südhemisphärischer Ausbildung) kaum für die Dauer eines Monats ariden Zustand aufweisen. Der klimatische Äquator weicht in Kolumbien, wie bereits aus der Hettner'schen Skizze [262] 1893 zu ersehen ist, im Cauca- und Magdalenental bis 5° nördlich vom astronomischen Äquator ab³⁹⁾.

Das nordwestliche Südamerika zeichnet sich im ganzen durch verhältnis-mäßig große Zahl der humiden Monate aus, die aber durch die rasch wech-selnde Höhenlage sich sehr schnell verändern kann. Als besonders trocken (mehr als sechs aride Monate) erweisen sich große Teile der atlantischen Küste Kolumbiens als Fortsetzung der venezolanischen passatischen Trok-kengebiete. Die Halbinsel Goajira zeigt nur zwei bis drei humide Monate. Ebenso tritt im Lee der ganzjährig humiden Sierra de Santa Marta (s. Tab. 21, Station LAS VEGAS) in der unteren Magdalena-Ebene östlich von Calamar⁴⁰⁾ ein Gebiet auf, das höchstens bis zu fünf humide Monate aufweist. Überwiegend arid im Jahresdurchschnitt sind außerdem noch ge-wisse Talstrecken der großen Flüsse, Rio Cauca und Rio Magdalena und der Nebenflüsse Rio Sogamoso und Rio Bogotá. Nach R. D. Schmidt haben diese Gebiete 500 bis 1000 mm N, was etwa einer Dauer der humiden Zeit von vier bis sieben Monaten entsprechen dürfte. Die Stationen liegen in diesen Tälern aber meist nicht in den trockensten Teilen und geben das Bild der trockenen Talungen nicht recht wieder (vgl. Tab. 21).

³⁸⁾ Troll [338], S. 422.

³⁹⁾ Genauer Verlauf des Klima-Äquators auch bei R. D. Schmidt [320].

⁴⁰⁾ Schmidt [320], Tab. 2, Nr. 74.

Tabelle 21: Stationen in Kolumbien.

Station	Höhe (m)	Breite (N)	Länge (W)	humide Monate	aride Monate	Zahl der Monate		N (Jahr) mm	Typ
						h	a		
<i>Karibisches Gebiet:</i>									
Las Vegas	ca. 1200	11° 12'	73° 54'	1—12	—	12	0	3471	Taefd
Puebloviejo	—	11° 00'	74° 16'	5, 6, 8—11	1—4, 7, 12	6	6	849	Taet ₂
Barranquilla	4	10° 59'	74° 50'	5—11	1—4, 12	7	5	842	Taet ₁
<i>Nördliches Tiefland:</i>									
Mompos	33	9° 15'	74° 26'	4—12	1—3	9	3	1768	Taet ₁
Majagual	70	8° 33'	74° 39'	4—12	1—3	9	3	2950	Taet ₁
Gamarra	69	8° 19'	73° 45'	4—11	1—3, 12	8	4	1395	Taet ₁
<i>Bergland von Medellín:</i>									
Medellin	1538	6° 15'	75° 33'	1—12	—	12	0	1550	Taefd
Barranca- Bermeja	111	7° 04'	73° 55'	1—12	—	12	0	2980	Taefd
<i>Kordillere von Bogotá:</i>									
Bucaramanga	1018	7° 07'	73° 11'	2—12	1	11	1	1130	Taet ₁
Tunja	2801	5° 32'	73° 22'	3—11	1, 2, 12	9	3	764	Taet ₁
Bogotá	2651	4° 36'	74° 05'	1—12	—	12	0	938	Taefd
<i>Oberes Magdalena:</i>									
Altamira	1079	2° 04'	75° 46'	4—12	1—3	9	3	1160	Taet ₁
<i>Oberes Cauca:</i>									
Palmira	1085	3° 32'	76° 17'	1—5, 10—12	6—9	8	4	919	Taet ₁
<i>Bergland von Pasto:</i>									
Pasto	2594	1° 13'	77° 17'	1—6, 9—12	7, 8	10	2	718	Taet ₁
<i>Pazifisches Gebiet:</i>									
Buenaventura	12	3° 54'	77° 05'	1—12	—	12	0	7128	Taefd
Quibdó	138	5° 41'	76° 38'	1—12	—	12	0	10734	Taefd
Cisneros	—	3° 47'	76° 42'	1—5, 8—12	6, 7	10	2	1367	Taet ₁
Espinal	590	3° 46'	76° 41'	1, 4, 5, 10—12	2, 3, 6—9	6	6	772	Taet ₂
Dagua	816	3° 44'	76° 30'	1—12	—	12	0	4502	Taefd
<i>Ostabfall der Ostkordillere:</i>									
Villavincencio	498	4° 09'	73° 37'	1—12	—	12	0	4807	Taefd

BOGOTA hat durch seine Höhenlage in 2651 m sogar 12 humide Monate. Keine der beiden Trockenzeiten (bei mustergültigem äquatorialen Regengang) wird arid, wenn auch der Januar und August sich hart an der Ariditätsgrenze bewegen und in manchen Jahren ariden Zustand aufweisen (vgl. Tab. 21).

Charakteristisch für die Feuchtigkeitsstufung in den Tälern ist das Dagua-Tal, ein Quertal, das die Westkordilleren in der Breite von Buenaventura durchbricht (vgl. Tab. 21, Stationen BUENAVENTURA, CISNEROS und ESPINAL). Das Dagua-Tal kann als klassisches Beispiel dafür gelten, daß die Trockenheit in den Tälern an der Sohle am größten ist, während mit wachsender Höhe die Dauer der Humidität parallel mit der Steigerung der Regenmenge und der Abnahme der Temperatur wächst⁴¹⁾.

Außer in den genannten trockeneren Gebieten zeichnen sich sowohl die West- und Ostseiten der Kordilleren, als auch die Gebirgsketten selbst durch lange Dauer und hohen Grad der Humidität aus, die auf der Westseite durch dauernde monsunartige westliche Winde noch besonders gesteigert wird (vgl. Tab. 21 und Abb. 12, Profil 4)⁴²⁾. Die Westküste Kolumbiens gehört ja bekanntlich zu den regenreichsten und damit zu den extrem

⁴¹⁾ Vgl. hierzu Schmidt, R. D. [320], S. 18; Troll, Beitrag in vorliegendem Heft.

⁴²⁾ Vegetation in Abb. 12, Profil 4, im wesentlichen nach C. Troll [342], Taf. 9.

humiden Gebieten der Erde (vgl. Station QUIBDO, Tab. 21, mit Index 350 bei 10734 mm N), oft verglichen mit dem Kamerunberg, den Khasiabergen und dem Mount Waialeale (Hawaii), die alle Niederschläge über 10 m aufweisen.

3. Ecuador.

In Ecuador schließen die beiden Kordilleren-Hauptzüge (Cordillera oriental und Cordillera occidental) durch Querriegel getrennte Hochbecken ein, die durch Quertäler nach dem Amazonas-System oder dem Pazifik hin entwässern. Die vertikale Gliederung nach der Temperatur und den Vegetationsstufen entspricht der von Kolumbien. An der pazifischen Küste setzt nun aber der tropisch-sommerhumide Typ ein, der nach Süden immer weiter in östlicher Richtung auf die Anden übergreift (vgl. Kap. I). In den Hochbecken herrscht zunächst noch der äquatoriale Typ mit einer ariden Zeit vor. Die kleine Trockenzeit im Sommer (in Ecuador der Veranillo del Niño) ist auch hier im Monatsmittel nicht arid. Zeigen die Adenhänge ganzjährige Humidität, wie die Stationen EL PUYO und LA VICTORIA am Osthang der Ostkordilleren, so erscheinen die Hochbecken trockener. Die Zahl der humiden Monate nimmt regional nach Süden und lokal nach den inneren Becken und Talsohlen hin ab (vgl. Querprofil durch die Anden in der Breite von Quito, Abb. 12, Profil Nr. 6)⁴³⁾. In QUITO (2827 m Höhe) dauert die humide Zeit 11 Monate. Die etwas weiter südlich in einem anderen Hochbecken liegende Station AMBATO (2566 m H) zeigt nur fünf humide Monate. AMBATO gilt aber allgemein als besonders trocken⁴⁴⁾.

Im ecuatorianischen Küstentiefland nimmt die Dauer der humiden Monate von NNE nach SSW sehr schnell ab. Die Küstenstadt TUMACO an der kolumbianisch-ecuatorianischen Grenze hat noch 12 humide Monate, GUAYAQUIL dagegen nur noch vier (von Januar bis April). LA LIBERTAD in gleicher Breite an der Außenküste hat sogar nur noch zwei. Die Vegetation ist dort bereits halbwüstenhaft.

4. Peru und Bolivien.

Mit der Wendung der Andenkette aus der NNE/SSW in die NNW/SSE-Richtung beginnt sich die klimatische Struktur der Andengebiete zu ändern. Das tropisch-feuchte Klima wird allmählich immer mehr auf die Ostseiten der Ketten zurückgedrängt, während die Trockenheit der Westküste mehr und mehr von den Anden Besitz ergreift und in Nordbolivien schließlich die ganze Hochfläche bis zur Ostkordillere einnimmt. Nur der Osthang zeigt dann noch feucht-tropischen Charakter, der bis etwa 27° s. Br. erhalten bleibt⁴⁵⁾. Betrachtet man also die Hochregion der Anden vom Äquator aus nach Süden, so erhält man von den Tropen zu den Subtropen eine ähnliche Abnahme der Zahl der humiden Monate, wie im Tiefland nach der bekannten Abstufung von den äquatorialen, immerfeuchten Gebieten zu den periodisch-sommerfeuchten bis zur völligen Wüste. Gemäß der landschaftlichen Gliederung, die sich in der Hauptsache auf die klimatisch bedingten Vegetationszonen und -stufen gründet, laufen auch die Linien gleicher Humiditätsdauer schräg von NW nach SE über das Andengebirge. Leider sind die Stationsnetze von Peru und Bolivien zu dürf-

⁴³⁾ Vegetation in Abb. 12, Profil 6, im wesentlichen nach C. Troll [342], Taf. 9.

⁴⁴⁾ Franze [247].

⁴⁵⁾ Troll [342], S. 108.

tig, als daß die Linienführung der Isohygromenen Anspruch auf Genauigkeit erheben könnte. Alle Stationen zeigen jedenfalls den tropisch-sommerhumiden Typ mit der ariden Zeit im Winter, sofern sie nicht schon in den ganzjährig ariden Bereich der Küstenwüste fallen, die in 4 bis 5° s. Br. beginnt. Als Repräsentanten des völlig ariden Bereichs (12 aride Monate) können eine Reihe Stationen an der peruanischen Küste und ihrem unmittelbaren Hinterland gelten: CHICLAYO, TRUJILLO, CALLAO, LIMA, LA JOYA und MOLLENDO. In Chile setzt sich diese Trockenheit noch fort bis etwa 28° s. Br.: TACNA, ARICA, IQUIQUE, ANTOFAGASTA, TALTAL, CALDERA, COPIAPO und VALLENAR⁴⁶⁾.

Durch den genannten Verlauf der Landschaftsgürtel steigt nach Süden die Zone mit 12 ariden Monaten zu beträchtlichen Höhen auf. In der Breitenlage von Arequipa tritt erst über 2000 m ein humider Monat auf (vgl. Tab. 22 AREQUIPA), in der nordchilenischen Salpeterwüste (z. B. Bahn von ANTOFAGASTA nach ORURO) gar erst in etwa 4000 m (vgl. Tab. 22, Stationen OLLAGUE und COLLAHUASI).

Leider versagen die Stationsmessungen, um den genauen Verlauf der Isohygromenen mit Höhenangaben belegen zu können. Im ganzen kann man jedoch ein stetiges Steigen der genannten Linien bis in die Breite der Atacama-Wüste feststellen, von dort senken sie sich dann relativ schnell wieder ab.

Die Ausweitung der Trockenheit auf immer größere Höhen und das langsame Eingreifen in den interandinen Raum bewirkt eine immer langsamere Zunahme der humiden Monate im westöstlichen Querprofil der Anden. Gleichzeitig sinkt von NW nach SE die Zahl der humiden Monate immer mehr, wobei aber auch die Zunahme der Humidität mit der Höhe zu bedenken ist.

Die durch die schräge Anordnung der Landschaftsgürtel hervorgerufene zweifach sich durchdringende vertikale und horizontale Gliederung wird durchbrochen durch tiefe Taleinschnitte, die sich jeweils wieder durch größere Trockenheit, und damit durch ein Anwachsen der Aridität auszeichnen. Solche Trockengebiete sind vor allem die Täler der zahlreichen Quellflüsse des Amazonas, des Pilcomayo und Bermejo. Es steigert sich dort die Trockenheit talabwärts bis zur Wüstenhaftigkeit⁴⁷⁾. Leider stehen nur einige Stationen für die oberen feuchteren Talabschnitte zur Verfügung (vgl. Tab. 22). Der Ostabhang der Ostkordilleren⁴⁸⁾ ist außerordentlich gut befeuchtet und zeigt in Peru 12 humide Monate. Leider lassen uns geeignete Stationsmessungen auch hier im Stich. Als Beispiel kann höchstens LA MERCED, etwa in der geographischen Breite von Lima, mit zwölf humiden Monaten dienen (vgl. Tab. 22, Abb. 12; Profile Nr. 7 u. 8⁴⁹⁾; Tab. IV Anhang).

⁴⁶⁾ Auf eine Erklärung der Trockenheit (ablandiger SE-Passat, kalter Humboldtstrom, Auftriebswasser, Leewirkung der Anden) muß im Rahmen dieser Arbeit verzichtet werden. Es wird daher auf die einschlägige Literatur verwiesen (s. K n o c h [277]). Über das El Niño-Problem vgl. neue Literatur: M u r p h y [305, 306]; S c h o t t [327]; Z o r e l l [354].

⁴⁷⁾ Vgl. hierzu T r o l l, Die Cordillera Real, Z. Ges. Erdk. Berl. 1931.

⁴⁸⁾ Die Temperaturabstufung der Vegetation, wie sie in Ecuador und Kolumbien üblich ist, findet man auch in Ostperu und Ostbolivien wieder, nur daß man hier statt tierra caliente, templada, fria, helada von Montaña, Medio Yungas, Ceja de la Montaña und Jaica bzw. Pajonal spricht.

⁴⁹⁾ Vegetation in beiden Profilen 7, 8 (Abb. 12) im wesentlichen nach C. T r o l l [342], Taf. 9.

Tabelle 22: Stationen in den peruanischen und bolivianischen Anden.

Station	Höhe (m)	Breite (S)	Länge (W)	humide Monate	aride Monate	Zahl der Monate h	a
Gebirgsstationen:							
Cerro de Pasco	4350	10° 43'	76° 16'	1—5, 7—12	6	11	1
Jauja	3450	12° 04'	75° 15'	1—3, 11, 12	4—10	5	7
Cailloma	3960	15° 10'	71° 55'	1—4, 12	5—11	5	7
Vincocaya	4380	15° 46'	71° 16'	1—3	4—12	3	9
Collahuasi	4805	20° 59'	68° 49'	2	1, 3—12	1	11
Ollague	3695	21° 13'	68° 16'	—	1—12	4	12
Valle-Stationen:							
Cajamarca	2810	7° 10'	78° 20'	1—4, 9—12	5—8	8	4
Chosica	2012	11° 05'	76° 15'	2	1, 3—12	1	11
Puno	3822	15° 50'	70° 05'	1—4, 9—12	5—8	8	4
Arequipa	2451	16° 22'	71° 36'	2	1, 3—12	1	11
La Joya	1262	16° 46'	71° 50'	—	1—12	0	12
La Paz	3658	16° 30'	68° 09'	1—4, 11, 12	5—10	6	6
Cochabamba	2575	17° 23'	66° 04'	1—3, 12	4—11	4	8

b) Das außerandine tropische Südamerika.

1. Amazonas-, Orinoco-Tiefland und Bergland von Guayana.

In Inneramazonien herrscht der tropisch dauernd humide Typ, wie aus der Karte der ombrothermischen Klimate ersichtlich ist. Folgende Tabelle verdeutlicht den höheren Niederschlag am Osthang der Anden:

Station	Höhe (m)	Breite (S)	Länge (W)	humide Monate	N (Jahr) mm	Humiditäts- Index	Typ
Amazonasniederung:							
Renate de Males	100	4° 21'	70° 24'	12	2819	80	Taefd
Iquitos	106	3° 75'	73° 12'	12	2623	75	Taefd
Osthang der Anden:							
La Merced	750	11° 00'	75° 30'	12	3610	115	Taefd
El Pujo	980	1° 25'	77° 56'	12	3854	120	Taefd

Von den Llanos des Orinoco bis zum brasilianischen Bergland umgibt das dauernd humide Amazonasgebiet der tropisch-sommerhumide Typ, wohl aber nicht ohne Übergangszone mit dem äquatorialen Typ mit einer ariden Zeit, die aber nur andeutungsweise durch die Stationen MANAOS und CANUTAMA (6°32'S, 34°35'W) nachzuweisen ist.

Der klimatische Äquator, den wir bereits im vorigen Kapitel bis in die Höhe von Bogotá verfolgt hatten, scheint beim Abstieg zum Tiefland zunächst wieder nach Süden auszuweichen, dann etwa entlang dem astronomischen Äquator durch den Amazonasbereich hindurchzuziehen. Beim Eintritt in den sommerhumiden Bereich zwischen dem Amazonasbecken und dem Bergland von Guayana bleibt er südlich der Station BOA VISTA in 2°49'N und 60°41'W, biegt dann aber scharf nach NE um, da die Stationen in Guayana teilweise nord- und teilweise süd-

hemisphärischen Typ erkennen lassen. Bei Georgetown gewinnt er etwa in 6 bis 7° n. Br. die Küste⁵⁰⁾.

Im oberen Amazonasgebiet zeigen alle, wenn auch nur in beschränktem Maße zur Verfügung stehenden Stationen, wie IQUITOS, RENATE DE MALES, COARY, SAN GABRIEL (Rio Negro) und SAN FELIPE (am Arapary), 12 humide Monate. Außer in Richtung auf die Anden hin erfolgt nach allen anderen Seiten eine Abnahme. Nach Norden zeigen die Llanos des Orinoco an den trockensten Stellen 4 humide Monate (ARAGUA DE BARCELONA von Juli bis Oktober) im Durchschnitt aber 7 (z. B. CIUDAD BOLIVAR). Dies gilt auch für den oberen Rio Branco im Lee des Guayana-Berglandes (BOA VISTA). Über die Abnahme der Humidität nach Osten geben folgende Stationen entlang des Amazonas Aufschluß:

Tabelle 23: Stationen am Amazonas.

Station	Breite (S)	Länge (W)	humide Monate	aride Monate	Zahl der Monate		N (Jahr) mm
					h	a	
Coary	4° 22'	63° 04'	1—12	—	12	0	2242
Manaos	3° 08'	60° 01'	1—6, 9—12	7, 8	10	2	1771
Obidos	1° 50'	55° 34'	1—6, 9—12	7, 8	10	2	1552
Taperinha	2° 30'	54° 20'	1—7, 12	8—11	8	4	1767
Belem	1° 27'	48° 29'	1—8, 12	9—11	9	3	2277
Salinas	0° 35'	47° 21'	1—7	8—12	7	5	1749

Ähnlich liegen die Verhältnisse in südlicher Richtung: (SENNA MADUEIRA im Territorium Acre, PUERTO COBIJA und PORTO VELHO am Rio Madeira 9 h M).

2. Brasilianisches Bergland.

Der gesamte Raum der brasilianischen Campos weist 7 bis 9 humide Monate auf. Alle Stationen in den Staaten Pará, Maranhão, Goyaz und Mato Grosso zeigen die Einheitlichkeit des vom winterlichen SE-Passat bestimmten Klimas (vgl. Tab. 24).

Tabelle 24: Nord-südliches Stationsprofil von Maranhão nach Mato Grosso.

Station	Höhe (m)	Breite (S)	Länge (W)	humide Monate	aride Monate	Zahl der Monate		N (Jahr) mm
						h	a	
<i>Maranhão:</i>								
São Luiz	20	3° 32'	44° 16'	1—7, 12	8—11	8	4	2184
Imperatriz	95	5° 31'	47° 34'	1—5, 10—12	6—9	8	4	1337
Carolina	—	7° 19'	47° 34'	1—5, 10—12	6—9	8	4	1408
<i>Pará</i>								
Coccição	10	8° 15'	49° 12'	1—4, 10—12	5—9	7	5	1575
<i>Goyaz</i>								
Porto Nacional	—	10° 39'	48° 20'	1—5, 1—12	6—9	8	4	1827
Palma	—	12° 26'	48° 06'	1—4, 10—12	5—9	7	5	1533
Goyaz	520	15° 55'	50° 08'	1—4, 10—12	5—9	7	5	1689
<i>Mato Grosso</i>								
Cuyaba	235	15° 36'	56° 06'	1—4, 10—12	5—9	7	5	1388
São Luiz	118	16° 04'	57° 41'	1—5, 10—12	6—9	8	4	1290

⁵⁰⁾ Treumer [335].

Zeigt die Tabelle in der Zahl der humiden Monate eine große Einheitlichkeit, so differieren die Regenmengen sehr stark bis zum Höchstwerte von 894 mm in SAO LUIZ DE MARANHAO und SAO LUIZ DE CACERES (vgl. das Gebiet des SE-Passates in Afrika, wo ähnliche Verhältnisse vorliegen).

3. Nordostbrasilianisches Trockengebiet und östliche Randlandschaften.

Weit kompliziertere Verhältnisse charakterisieren den trockeneren Nordosten Brasiliens und den stark reliefierten Abfall zur Küste mit winterlichen Steigungsniederschlägen. Das winterhumide Gebiet beschränkt sich jedoch nur auf die Küste und den unmittelbaren Anstieg zum Bergland und reicht nur von Kap São Roque bis nördlich Bahia. Dieses, selbst dem dauernd humiden Typ angehörend, zeigt zwei Maxima (Sommer und Winter). Im Hinterland von Bahia aber weist eine ganze Gruppe von Stationen den äquatorialen Typ mit zwei ariden Zeiten auf (vgl. Tab. 25 und Taf. 1).

Tabelle 25: Ombrothermische Klimatypen in NE-Brasilien.

Station	Höhe (m)	Breite (S)	Länge (W)	humide Monate	aride Monate	Zahl der Monate		Typ						
						h	a							
Recife	30	8° 05'	34° 51'	1—9	10—12	9	3	Tfwi						
Bahia	47	13° 00'	38° 30'	1—12	—	12	0	Tfd						
Quixamorabim	207	5° 16'	39° 15'	1—6	7—12	6	6	Tfso						
Pão de Assucar	49	9° 44'	37° 27'	1, 4—7, 12	2, 3, 8—11	6	6	Taetz						
		Monate:	J F M A M J J A S O N D	Jahr										
Recife	Humiditätsindex	16	28	52	70	90	96	90	55	23	8,4	8,6	9,2	45
Bahia	"	24	48	50	94	89	83	68	43	34	38	41	50	55
Quixamorabim	"	29	35	58	58	44	21	11	4,5	1	0,6	3	11	22
Pão de Assucar	"	25	11	10	22	20	29	31	14	5,4	8,2	7,5	25	17

Im nordostbrasilianischen Trockengebiet sinkt die Zahl der humiden Monate z. T. erheblich ab. An einigen Stellen geht sie bis auf 3, ja auf 2 humide Monate zurück. Die geringste Zahl findet sich in einem schmalen Streifen vom mittleren Rio Grande do Norte durch Parahyba und Pernambuco in südwestlicher Richtung zum Rio São Francisco bis tief in den Staat Bahia hinein (vgl. Tab. 26).

Tabelle 26: Stationen im nordostbrasilianischen Trockengebiet.

Station	Breite (S)	Länge (W)	humide Monate	aride Monate	Zahl der Monate		N (Jahr) mm
					h	a	
<i>Rio Grande do Norte:</i>							
Macau	5° 06'	36° 38'	3—5	1,2 6—12	3	9	370
Lages	5° 42'	36° 15'	2—4	1, 5—12	3	9	393
<i>Parahyba:</i>							
Cabaceiras	7° 29'	36° 17'	4	1—3, 5—12	1	11	236
Soledade	7° 04'	36° 18'	2—4	1, 5—12	3	9	409
San João de Cariry	7° 22'	36° 30'	2, 4	1, 3, 5—12	2	10	376
<i>Pernambuco:</i>							
Alagôa de Beixo	8° 07'	37° 16'	2—4	1, 5—12	3	9	445
Petrolina	9° 25'	40° 32'	1,12	2—11	2	10	213

Nach Süden und zur Küste hin nimmt die Zahl der humiden Monate allmählich wieder zu. Die Serra do Mar zwischen Bahia und Rio de Janeiro ist dauernd humid. Lediglich zwischen Campos und Rio de Janeiro tritt das Gebiet mit 9 humiden Monaten bis an die Küste heran (Campos dos Goayacazes).

c) Die subtropischen und gemäßigten Breiten Südamerikas.

In den Breiten um den Wendekreis vollzieht sich allmählich der Übergang von den eigentlichen Tropen zu den Rand- und schließlich zu den Subtropen⁵¹⁾. Dort gewinnen die Temperaturen erhöhte Bedeutung. Sie sinken im ganzen ab und ihre Amplitude wird größer. In den brasilianischen Südstaaten und in Uruguay ist die Verdunstung durch die Temperatur bereits merklich erniedrigt. Die Niederschläge verlieren gleichzeitig ihren periodischen Charakter, weisen geringere Jahressummen auf, verteilen sich aber allmählich über das ganze Jahr. Im Staate São Paulo haben wegen der Periodizität des Niederschlags nur Stationen mit über 1400 mm N ganzjährige Humidität. In Buenos Aires genügen dagegen bei gleichmäßiger Verteilung über das ganze Jahr schon 962 mm N⁵²⁾. Im Gebiet des Gran Chaco jedoch bleibt eine ausgesprochene Periodizität des Niederschlags erhalten⁵³⁾. Die ombrothermischen Klimatypen nehmen nach Süden ohne scharfe Übergänge subtropischen und gemäßigten Charakter an (vgl. Tafel 1, Karte der ombrothermischen Klimatypen).

Die Isohygromenen verlaufen in Nordargentinien meridional, eine Abnahme der Feuchtigkeit von Ost nach West andeutend. Bis auf vier Monate nimmt im Chaco die Dauer der humiden Zeit ab. Nördlich Tucumán steigt dann jedoch beim Anstieg zur Kordillere die Zahl der humiden Monate wiederum bis auf 8 bzw. 9 an, um dann auf dem Hochplateau der Puna wieder bis auf ganzjährige Aridität abzusinken. Südlich Tucumán, wo die Kondensationswirkung des östlichen Kordillerenabfalls fehlt, ist auch eine Zunahme der humiden Zeit nicht mehr möglich. Dort erfolgt dann eine stetige Abnahme bis 0 Monate (vgl. Tab. 27 und 28 und Profile 8, 9⁵⁴⁾). Der östliche Teil der Kordilleren löst sich südwärts unter bedeutendem Höhenverlust auf (Pampine Sierren). Die Sierren erreichen im Höchstfall den Feuchtigkeitsgrad der Trockenpuna. Breite Becken (Bolsones, Salinas) treten zwischen die einzelnen Sierren, die mitunter völlig arid sind, so z. B. der Kordillerenrand bei MENDOZA und SAN JUAN⁵⁵⁾. Beide Stationen zeigen 0 humide Monate bei 194 bzw. 88 mm N. In der Breite von BAHIA BLANCA biegen die Isohygromenen zur atlantischen Küste ab, so daß Ostpatagonien zum großen Teil ohne humide Monate ist außer an einigen Erhebungen (SIERRA GRANDE im Territorium Chubut 6 h M, CAMERO-

⁵¹⁾ Für Südamerika ist die Abgrenzung der Tropen vergleichend behandelt bei O. Maull [55], der in seinen Ausführungen die Grenzlinien der Tropen nach Supan, Hettner, Köppen, De Martonne, Philippson und Passarge vergleichend gegenübergestellt. Danach sind Abgrenzungen der Tropen von Krebs [45], Troll [73] und von v. Wissmann unternommen worden.

⁵²⁾ Temperaturwerte von S. PAULO und BUENOS AIRES s. Knoch [277].

⁵³⁾ Giese [252]; Kühn [291].

⁵⁴⁾ Die Stationsreihe der Tab. 27 ist gleichzeitig auch in Abb. 12, Prof. Nr. 8, 9 dargestellt. Die Vegetation des Profils 9 nach Maack [296], des Profils 8 nach Troll [342], Taf. 9.

⁵⁵⁾ Knoch [277], S. 34.

NES in Santa Cruz an der atlantischen Küste 3 h M). Im Territorium Santa Cruz greifen mit dem Absinken der Andenkette nach Süden die feuchten Westwinde auf die Ostseite über, die im Feuerland sogar dauernde Humidität bis zur Ostküste verursachen (PORTO GALLEGOS 4 h M, PUNTA DELGADA 6 h M, die Staateninseln 12 h M bei 1701 mm N).

Tabelle 27: Stationsprofil in 25 bis 27° s. Br.
(vgl. auch Abb. 12, Profile 8, 9).

Station	Höhe (m)	Breite (S)	Länge (W)	humide Monate	aride Monate	Zahl der Monate		N (Jahr) mm
						h	a	
Brasilien (Paraná):								
Paranagua	4	25° 34'	48° 31'	1—12	—	12	0	1853
Curitiba	908	25° 25'	49° 17'	1—12	—	12	0	1397
Ponta Grossa	947	25° 08'	50° 05'	1—12	—	12	0	1745
Paraguay:								
Asunción	105	25° 17'	57° 41'	1—7, 9—12	8	11	1	1315
Argentinien:								
Tagoagla	87	24° 55'	58° 50'	1—5, 10—12	6—9	8	4	975
Nueva Pompeji	107	24° 55'	61° 39'	1—3, 11, 12	4—10	5	7	444
Rosario de la Fontera	—	25° 50'	65° 00'	1—4, 11, 12	5—10	6	6	729
Tucumán	477	26° 50'	65° 11'	1—4, 10—12	5—9	7	5	959
Villa Nongues	1388	26° 53'	65° 23'	1—5, 10—12	6—9	8	4	
San Carlos	—	26° 00'	65° 50'	—	1—12	0	12	94
Chile:								
Refresco	1850	25° 19'	69° 52'	—	1—12	0	12	9
Taltal	39	25° 25'	70° 34'	—	1—12	0	12	11

Tabelle 28: Stationsprofil in 32° s. Br.

Station	Höhe (m)	Breite (S)	Länge (W)	humide Monate	aride Monate	Zahl der Monate		N (Jahr) mm
						h	a	
Argentinien:								
Concordia	24	31° 23'	28° 02'	1—12	—	12	0	1007
Paraná	65	31° 47'	60° 29'	1—6, 9—12	7, 8	10	2	876
Santa Fé	26	31° 40'	60° 42'	1—5, 9—12	6—8	9	3	955
Devoto	109	31° 24'	62° 23'	1—4, 10—12	5—9	7	5	736
Villa Maria	204	32° 23'	63° 15'	1—4, 10—12	5—9	7	5	711
Cordoba	423	31° 25'	64° 12'	1—3, 10—12	4—9	6	6	731
Villa Dolores	537	31° 58'	65° 14'	1—3, 12	4—11	4	8	
Chilectico	—	31° 30'	66° 30'	—	1—12	0	12	161
San Juan	664	31° 32'	68° 42'	—	1—12	0	12	88
Villavencencia	1853	32° 34'	68° 59'	10	1—9, 11, 12	1	11	
Chile:								
Chincolco	715	32° 30'	70° 50'	5, 6	1—4, 7—12	2	10	259
Ligua	88	32° 27'	71° 16'	5—7	1—4, 8—12	3	9	278
Zapallar	30	32° 33'	71° 28'	5—7	1—4, 8—12	3	9	437

Im Gegensatz zur allgemeinen Trockenheit Ostpatagoniens ist Westpatagonien außerordentlich feucht und zeigt 12 humide Monate mit steigender Niederschlagsmenge von der Küste zu den Kordilleren hin. Dieses dauernd humide Gebiet beginnt aber erst ab 38° s. Br. Zwischen 28 und 38° vollzieht sich in Chile der Übergang von der völlig ariden Wüste bis zum extrem humiden Waldgebiet Südchiles (vgl. Tab. 29).

Tabelle 29: Stationsprofil durch das chilenische Längstal.

Station	Höhe (m)	Breite (S)	Länge (W)	humide		aride		Zahl der Monate		N (Jahr) mm
				Monate	Monate	h	a			
Vallenar	379	28° 35'	70° 47'	—	1—12	0	12	38		
Paignano	1004	30° 02'	70° 32'	5	1—4, 6—12	1	11	123		
Chincolco	715	32° 13'	70° 50'	5, 6	1—4 7—12	2	10	259		
Putando	794	32° 38'	70° 40'	5—7	1—4, 8—12	3	9	392		
Quilotta	128	32° 53'	71° 10'	5—8	1—4, 9—12	4	8	362		
Malloco	407	33° 63'	70° 13'	5—9	1—4, 10—12	5	7	594		
Talca	98	35° 26'	71° 10'	4—9	1—3, 10—12	6	6	683		
Mantacillas	170	36° 06'	71° 42'	4—11	1—3, 12	8	4	1299		
Concepcion	15	36° 50'	73° 03'	3—11	1, 2, 12	9	3	1307		
Los Angeles	160	37° 28'	72° 21'	3—11	1, 2, 12	9	3	1094		
Victoria	351	38° 14'	73° 18'	3—12	1, 2	10	2	977		
Temuco	110	38° 45'	72° 38'	2—12	1	11	1	1311		
Panquipullu	140	39° 40'	72° 17'	1—12	—	12	0	2760		
Puerto Montt	10	41° 28'	72° 57'	1—12	—	12	0	2188		

In der Quererstreckung Chiles erweist sich die Außenküste feuchter als das Längstal im Regenschatten der Küstenkordillere, der Anstieg zur Hauptkordillere aber steigert die Humidität wieder beträchtlich (RANCA-GUA 500 m H, 5 h M bei 405 mm N; EL TENIENTE 2134 m H, 8 h M bei 1036 mm N). Im Bereich von 12 humiden Monaten steigert sich die Niederschlagsmenge in Westpatagonien noch erheblich (PUERTO MONTT 2188 mm N; Evangelistas in 52°24' s. Br. 3028 mm N; RENIHUE in 52°34' s. Br. 5387 mm NN; BAHIA FELIX in 52°58' s. Br. 5260 mm N).

d) Zusammenfassung.

Die Isohygromenenkarte von Südamerika zeigt im Gegensatz zu der von Afrika ein starkes Überwiegen der feuchten Areale (6 bis 12 humide Monate). Größere Trockenheit mit kürzerer Humiditätsdauer (1 bis 6 humide Monate) tritt nur in drei zusammenhängenden Gebieten auf, von denen die NNW-SSE verlaufende große Trockenachse vom Golf von Guayaquil bis zur Magellanes-Straße allerdings eine beträchtliche Ausdehnung hat. Ganzjährige Aridität herrscht zwar in Peru nur auf einem verhältnismäßig schmalen Küstensaum, sie greift aber dann in Bolivien auf die Anden über, wechselt schließlich auf deren Ostseite und reicht bis in den Süden Ostpatagoniens⁵⁶⁾. Die beiden anderen Gebiete mit mehr als 6 ariden Monaten — Nordostbrasilien⁵⁷⁾ und die venezolanisch-kolumbianische Küste⁵⁸⁾ — sind von geringerer Ausdehnung. Im tropischen Bereich sind

⁵⁶⁾ Für die Erklärung der Ursache Trockenheit s. Knoch, Klimakunde von Südamerika [277].

⁵⁷⁾ Vgl. Eckardt [12]; Quelle [311]; Sampaio Ferraz [318].

⁵⁸⁾ Vgl. Knoch [277]. Knoch führt als Begründung der Trockenheit lediglich den NE-Passat an, der durch seine absteigende Tendenz an sich niederschlagsfeindlich sei. Die Annahme eines Regenschattengebietes für Ostwinde (östlich abgelenkter NE-Passat), sowie das Vorhandensein kalter Auftriebswasser, hält er für nicht begründet ([277], S. 79). M. E. müssen aber doch die küstenparallelen Ostwinde an Teilen der venezolanischen Küste in Rechnung gesetzt werden. Als Beweis kann die Tatsache dienen, daß bei Richtungsänderungen der Küste von der OW- in die NS-Richtung bei starken Passatwinden im Winter erhebliche Steigungsniederschläge auftreten, die in dem zwanzigjährigen Mittel der Station TUCACAS zutage treten (TUCACAS 1054 mm N bei winterlichem Maximum, also z. Zt. des stärksten Passates (Gonzales [253]). An

mehrere Kerngebiete langdauernder Humidität zu erkennen: das obere Amazonas-Becken mit dem Ostrand der Anden, das Bergland von Guayana, die Südostküste Brasiliens und nicht zuletzt die Anden von Venezuela, Kolumbien und Ecuador.

Viel stärker als in Afrika beeinflusst die Oberfläche die Gestaltung Südamerikas die Humiditätsverhältnisse, wie überhaupt das Klima- und Wettergeschehen. Der außerordentlich gedrängte Verlauf der Isohygromenen in den Cordilleren läßt dies deutlich zutage treten. Die gewaltige Höhenerstreckung der Anden zwingt zusätzlich zu einer vertikalen Betrachtungsweise. In Peru und Bolivien trennen die Anden die trockene Westküste von dem feuchten östlichen Tiefland. Ebenso sind sie charakteristische Klimascheide zwischen dem feuchten West- und dem trockenen Ostpatagonien (vgl. Abb. 8, Fig. 19 und Tab. 30).

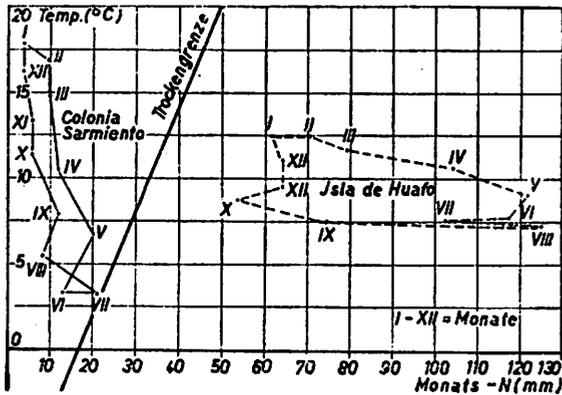


Abb. 8: Fig. 19: Humiditätsdiagramm der Stationen Isla de Huafo u. Colonia Sarmiento

Tabelle 30: Vergleichsstationen in West- und Ostpatagonien.

Station	Breite (S)	Länge (W)	Höhe	humide Monate										
Westpatagonien:														
Isla de Huafo	43° 34'	74° 45'	140	12										
Ostpatagonien:														
Colonia Sarmiento	45° 30'	69° 00'	270	0										
Monate:	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Jahr	Temp. Ampl.
Isla de Huafo	62	71	80	105	122	118	103	125	75	54	64	64	1042	
Temperatur (° C):	12,6	12,6	11,9	10,6	9,2	8,0	7,7	7,4	7,7	8,9	9,7	11,2	9,8	5,2
Colonia Sarmiento														
Niederschlag (mm):	4	9	10	12	20	13	21	9	12	6	6	4	125	
Temperatur (° C):	18,1	17,1	14,9	10,6	6,6	3,5	3,4	5,5	8,0	11,5	13,4	16,4	10,8	14,4

der OW-streichenden Küste aber bleiben, die Niederschläge aus, da der Passat dort weitgehend parallel der Küste weht, ja sogar kalte Auftriebswasser zu erzeugen vermag, wie aus G. Schott's Messungen 1931 erhellt ([326], S. 224 ff.).

ISLA DE HUAFO mit einer Jahresschwankung von nur $5,2^{\circ}$ ist extrem ozeanisch. COLONIA SARMIENTO dagegen mit $14,7^{\circ}$ Schwankung kann für südhemisphärische Verhältnisse bereits kontinental genannt werden. Beide Stationen sind nur durch sechs Längengrade, aber auch durch die Andenkette getrennt.

Durch die größere Breitenkreiserstreckung und Höhengraufung übt in Südamerika die Temperatur auf die Verteilung der Humidität einen maßgeblicheren Einfluß aus als in Afrika. In den tropischen Anden nimmt die Temperatur mit der Höhe ab (im Durchschnitt $0,5^{\circ}$ pro 100 m)⁵⁹). Da aber meist bis zu einer gewissen Höhe⁶⁰) eine Niederschlagssteigerung erfolgt, wirken beide Faktoren auf eine Zunahme der Humidität und ihrer Dauer hin (vgl. Abb. 9, Fig. 20 und Tab. 31). Davon machen allerdings alle trockenen andinen Hochbecken eine Ausnahme. Die Wirkung der Temperatur auf Humiditätsgrad und -dauer wird aus den in Abb. 9, Fig. 20 und Tabelle 31 zum Vergleich gebrachten Stationen ersichtlich.

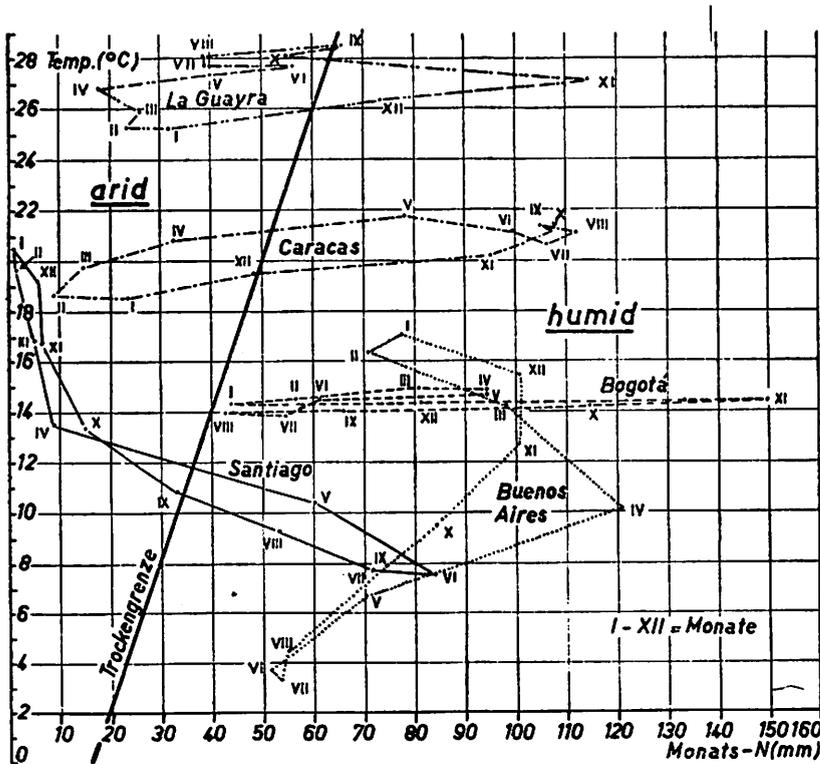


Abb. 9: Fig. 20: Humiditätsdiagramm der Stationen La Guayra, Caracas, Bogotá, Buenos Aires und Santiago

⁵⁹) Knoch [277], S. 18.

⁶⁰) Wagner [81].

Tabelle 31: Vergleichsstationen in den Tropen und Subtropen.

Station	Höhe (m)	Breite	Länge (W)	humide Monate												
La Guayra	5	10° 37' N	67° 07'	2												
Caracas	1043	10° 36' N	66° 56'	8												
Bogotá	2660	4° 35' N	74° 14'	12												
Buenos Aires	25	34° 37' S	58° 22'	12												
Santiago	500	33° 37' S	70° 42'	4												
	Monate:	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Jahr	Temp.	
La Guayra															Ampl.	
Niederschlag (mm):	32	23	25	17	39	56	39	38	64	55	104	75	567			
Temperatur (° C):	25,2	25,2	25,9	26,8	27,3	27,6	27,5	28,0	28,5	28,1	27,2	26,4	27,0	3,3		
Caracas																
Niederschlag (mm):	23	9	14	32	76	99	106	112	104	108	95	47	825			
Temperatur (° C):	18,5	18,6	19,7	20,9	21,7	21,2	20,8	21,1	21,3	21,1	20,3	19,5	20,4	2,2		
Bogotá																
Niederschlag (mm):	43	56	81	94	94	61	54	43	66	115	150	81	938			
Temperatur (° C):	14,4	14,6	15,0	14,9	14,8	14,6	14,0	14,0	14,1	14,4	14,6	14,4	14,5	1,0		
Buenos Aires																
Niederschlag (mm):	78	71	98	122	71	52	54	56	74	85	101	102	964			
Temperatur (° C):	23,1	22,5	20,4	16,3	12,8	9,8	9,4	10,6	12,8	15,5	18,8	21,6	16,6	13,7		
Santiago																
Niederschlag (mm):	1	2	5	14	60	84	72	53	33	13	6	5	348			
Temperatur (° C):	19,4	19,5	16,9	13,7	10,6	7,6	7,9	9,2	11,0	13,8	16,8	19,2	13,9	12,8		

Die Temperaturabnahme mit der Höhe verdeutlichen die drei Tropenstationen LA GUAYRA, CARACAS und BOGOTA. Bei LA GUAYRA und CARACAS ist die Temperaturschwankung etwa gleich groß, wohingegen BOGOTA als echte äquatoriale Station fast Isothermie zeigt. Die Niederschlagsmenge ist in dem höher gelegenen CARACAS größer als in LA GUAYRA. Letzteres zeigt zwei eindeutig humide Wintermonate (November und Dezember). Der September liegt im langjährigen Mittel gerade noch im ariden Bereich. CARACAS dagegen weist sieben humide Monate (Mai bis November) und einen Monat an der Grenze der Aridität (Dezember) auf. Die Wirkung der Temperatur wird dadurch besonders augenscheinlich, das LA GUAYRA bei gleichen Niederschlagsmengen und angemessener größerer Höhenlage (etwa in der von CARACAS) drei humide Monate mehr (Juli, September und Oktober) aufweisen würde. BOGOTA, am Ostrand einer Hochebene im Regenschatten gelegen, ist trotz seiner verhältnismäßig geringen Niederschläge durch die niedrige Verdunstung ganzjährig humid. Bei derselben Niederschlagsmenge würde im tropischen Tiefland im Sommer und Winter je eine aride Zeit auftreten.

Mit zunehmender Breite tritt zur Absenkung der Jahresmitteltemperatur (BUENOS AIRES 16,6°) eine erhebliche Jahresschwankung (13,7°), die sich sehr wirkungsvoll für die Dauer der Humidität bemerkbar macht. Der Niederschlag ist fast gleichmäßig über das Jahr verteilt mit einem geringen Maximum im April und einem Minimum in den Wintermonaten Juni bis August. Läge dieses Niederschlagsminimum in den Sommermonaten, so wäre bei den sommerlichen Mitteltemperaturen von 22 bis 24° die Verdunstung so hoch, daß in einigen Monaten arider Zustand erreicht würde. Den umgekehrten Fall zeigt die winterhumide Station SANTIAGO DE CHILE mit extrem ariden Sommermonaten und — bei geringer Verdunstung — hohen winterlichen Humiditätsgraden.

a) Zusammenfassender Vergleich der Isohygromenen mit den Niederschlagsverhältnissen in Südamerika.

Eine Karte der Niederschlagsdauer, wie sie für Afrika von H. Schmidt [207] vorliegt, gibt es für Südamerika bisher nicht. Dagegen ist die Niederschlagsverteilung mehrmals kartographisch dargestellt worden⁶¹⁾. Erstmals wurde 1907 eine Niederschlagskarte E. L. Voss [347] gezeichnet, der 1910 die von W. G. Reed [314] folgte. 1914 hat dann W. Sievers die Niederschlagskarte aus dem Berghaus'schen Physikalischen Atlas verbessert in seinem Werk über Mittel- und Südamerika wiedergegeben. Bereits auf zahlreicheren Stationsbeobachtungen beruht die Darstellung von E. van Cleeef aus dem Jahre 1921 [236]. 1928 erschien schließlich die Niederschlagskarte von B. Franze [247], die über 3000 Beobachtungen zur Grundlage hat. Bei Knoch [277] ist diese Karte nur wenig verbessert wiedergegeben. Für den Vergleich wurde in der Hauptsache auf die Karten von Franze und Knoch zurückgegriffen. Weiterhin wurden aber eine große Zahl von Darstellungen, die sich auf einzelne Gebiete beziehen, benutzt⁶²⁾. Der Vergleich der Isohygromenenkarte mit der Niederschlagsmenge ergab für Südamerika etwa folgendes Bild:

Im außerequatorialen Tropengebiet zeigt sich, ähnlich wie in Afrika, eine klare Beziehung zwischen der Niederschlagsmenge und der Zahl der humiden Monate. Bei weitgehender jahreszeitlicher Isothermie nimmt in diesen Gebieten mit der Dauer des Niederschlags auch seine Intensität ab, so z.B. vom Amazonas-Becken gegen die Llanos des Orinoco und gegen die Llanos des Mamoré. Auch in dem nordkolumbianischen Tiefland⁶³⁾ sowie im nordostbrasilianischen Trockengebiet⁶⁴⁾ ist diese Regelmäßigkeit gut ausgebildet.

Es gelten etwa folgende Beziehungen:

1500—1700 mm N . . .	9 humide Monate,
1000—1100 mm N . . .	6 humide Monate,
600— 750 mm N . . .	5 humide Monate,
400— 500 mm N . . .	4 humide Monate,
300— 400 mm N . . .	3 humide Monate,
200— 300 mm N . . .	2 humide Monate.

Diese Zusammenhänge sind aber in weiten Gebieten des tropischen Südamerika durchbrochen:

1. Im brasilianischen Bergland. Dort fallen in der Regenzeit größere Niederschlagsmengen als im ebenen Gelände. Der Bereich der Campos zeigt bei sieben bis acht humiden Monaten kaum Niederschläge unter 1400 mm. In den meisten Fällen sind sie aber höher als 1500 bis 1600 mm und können in Einzelfällen sogar über 2000 mm betragen.

2. In den interandinen Hochbecken. Die Stationen zeigen dort bei starker Abnahme des Niederschlags infolge der Temperaturabnahme noch relativ lange Dauer der humiden Zeit. In den kolumbianischen Hochtälern gelten daher etwa folgende Beziehungen:

⁶¹⁾ Vgl. Literaturverzeichnis.

⁶²⁾ Giese [252]; Knoche [283]; Davis [233]; Schmidt [320], Delgado de Carvalho [239] und [240]; Carvalho [233].

⁶³⁾ Vgl. Niederschlagskarte von R. D. Schmidt [320].

⁶⁴⁾ Vgl. Niederschlagskarte von Delgado de Carvalho [239].

> 1000 mm N . . . 12 humide Monate,
 750—800 mm N . . . 9 humide Monate,
 400—500 mm N . . . 6 humide Monate.

Zu einem exakten Vergleich fehlen in den Anden geeignete Stationsbeobachtungen.

3. Nach höheren Breiten hin genügt durch die Temperaturabnahme und ihre Schwankungen eine geringere Niederschlagsmenge zur Humidität. Die abnehmende Periodizität der Regenfälle und ihre gleichmäßige Verteilung über das Jahr tragen aber ebenso wesentlich zu dem veränderten Verhalten bei. Die Zahl der humiden Monate zeigt mit wachsender südlicher Breite im südöstlichen Südamerika etwa folgende Beziehungen zur Niederschlagsmenge⁶⁵⁾:

Breite (S)	Niederschlag (Jahr) mm	humide Monate	Ungefähre Lage
25°	1800	12	Ostküste Brasiliens
34°	1000	12	Ostküste Uruguays
37°	750	12	Nordostküste Argentiniens
22—23°	1000	6—7	Gran Chaco
32°	750	6—7	Gran Chaco
39°	500—600	6—7	Bahia Blanca
52—53°	400—450	6—7	Punta Arenas

Das ostpatagonische Trockengebiet hat 0 humide Monate bei Niederschlägen unter 250 mm.

Das subtropisch winterhumide Gebiet der Westküste zeigt etwa folgende Beziehungen⁶⁶⁾:

100 mm N . . . 1 humider Monat,
 250 mm N . . . 2 humide Monate,
 400—500 mm N . . . 5 humide Monate,
 600—700 mm N . . . 6 humide Monate,
 750—800 mm N . . . 7 humide Monate,
 > 1500 mm N . . . 12 humide Monate.

Eine erwähnenswerte Tatsache für Chile ist, daß die von Knoche [278] gefundene Gleichgewichtslinie zwischen Niederschlag und Verdunstung etwa der Linie von sieben humiden Monaten entspricht, also mit halbjährlicher Humiditätsdauer ungefähr zusammenfällt.

⁶⁵⁾ Vgl. Giese [252].

⁶⁶⁾ Vgl. Knoche [282].

B. Isohygromenen und klimatische Vegetationsgürtel in Afrika und Südamerika.

I. Grundlegende Vorbemerkungen über die Beziehungen zwischen Klima und Vegetationstyp in den Tropen und Subtropen.

Wie bereits einleitend angedeutet, hat man zur klimatischen Abgrenzung der Vegetationsgürtel in den Tropen und Randtropen im allgemeinen die Niederschlagsmenge, manchmal auch die Dauer der Regenzeit, als Kriterium herangezogen. Ein Vergleich der Isohyetenkarte mit der Karte der klimatischen Vegetationstypen zeigt aber, daß diese Beziehung in den meisten Fällen nicht zutrifft.

Der klimatische Vegetationstyp ist in der Hauptsache das Ergebnis des jährlichen Rhythmus der Ruhezeit (in den Tropen aride Zeit, Überwiegen der Verdunstungsmöglichkeit gegenüber der Niederschlagsaufnahme) und der Vegetationszeit (in den Tropen humide Zeit, in der für die maximale Verdunstungsmöglichkeit immer genügend Niederschlag zur Verfügung ist). Durch die Dauer der humiden bzw. ariden Zeit scheint in den Tropen und Randtropen der jeweilige klimatische Vegetationstyp seine besondere Prägung zu erhalten. Es ist in diesen Gebieten verhältnismäßig wenig ausschlaggebend, ob er in der humiden Zeit mehr Niederschlag erhält als gerade benötigt wird. Es kommt vielmehr darauf an, daß der Verdunstungshaushalt einen bestimmten Rhythmus aufweist, nämlich daß in der Vegetationsperiode soviel Niederschlag zur Verfügung steht, wie die einzelnen Vegetationsformationen gerade brauchen. Die übermäßige Niederschlagsmenge ist nur dann von Wichtigkeit, wenn sie die humide Zeit verlängern kann, wenn mit anderen Worten eine Speicherung des Niederschlags im Boden erfolgt, wie etwa beim immergrünen Galeriewald, der in der klimatisch ariden Zeit seine Feuchtigkeit vom Grundwasser bezieht. Es handelt sich dann aber nicht mehr um klimatische Humidität, sondern es tritt Humidität des Bodens bei Aridität des Klimas auf (edaphische Humidität).

In dem folgenden zusammenfassenden Abschnitt wird daher die Frage erörtert, inwieweit die Zahl der humiden Monate Kriterium und wichtiger Faktor für die naturräumliche Großgliederung (klimatische Vegetationsgürtel) der beiden Kontinente Afrika und Südamerika sein kann. Zugleich soll dieser Abschnitt ein Beitrag zu der von C. Troll angestrebten vergleichenden Vegetationsgeographie darstellen, indem neue Beziehungen zwischen den Vegetationstypen, die sich in Physiognomie, Lebensformen und Bestandsaufbau entsprechen, und der klimatischen Struktur aufgezeigt werden.

Eine geographische Untersuchung kann nicht durch eine mit Methoden der Klimatologie entworfene Karte erfüllt sein. Es ist notwendig, sie einem allgemeinen geographischen Problem dienlich zu machen und in einem Vergleich kausale Beziehungen aufzudecken, die ein solches Problem seiner vollständigen Klärung näherbringen. So ist es offensichtlich, daß

die naturräumliche Landschaftsgliederung der beiden Kontinente sich in der Hauptsache in den Vegetationsformationen äußert, die vorwiegend klimatisch bedingt sind. Die Vegetation ist der beste organische Indikator des Klimas, wie die Hydrographie ihr anorganischer ist. Aus diesem Grunde haben auch Klimaklassifikationen immer entweder von der Vegetation (Köppen, v. Wissmann) oder von der Hydrologie ihren Ausgang genommen (Woeikof, Penck). Zur Gliederung in Landschaftszonen wurden dann auch diese beiden sichtbaren Anzeichen des Klimas — Vegetation und Hydrographie — vergleichend betrachtet und zur gegenseitigen Abgrenzung benutzt, etwa in der Form, daß man das Aufhören dauernd fließender Flüsse (Pencksche Trockengrenze) in den Tropen als Grenze zwischen Savanne und Steppe (Grenze zwischen Galeriewaldsteppe und Uferwaldsteppe nach Passarge) oder Feuchtsavanne und Trockensavanne (nach Jaeger [34]) ansah und die Grenze zwischen periodisch und episodisch fließenden Flüssen als Steppen-Wüstengrenze auffaßte⁶⁷⁾.

Es ist bereits eingangs erwähnt worden, daß Wasser und Wärme für die organische Natur die wichtigsten ökologischen Voraussetzungen neben vielen anderen (z. B. Licht, Luft, Boden, Lebewelt) darstellen. Man muß sich freilich bewußt sein, daß im folgenden Abschnitt eine auf Grund von zwei klimatischen Elementen — Niederschlag und Temperatur — gezeichnete Karte mit einer natürlich gewordenen und nicht nur von Wasser und Wärme abhängigen Vegetation verglichen wird. Es müssen aber bei der Großräumigkeit der Untersuchungsgebiete andere Faktoren als Niederschlag und Temperatur, seien es andere klimatische, edaphische oder biotische Einflüsse, weitgehend zurückgestellt werden. Sie finden nur dort Erwähnung, wo sie entscheidend den klimatischen Vegetationstyp verändern. In den Tropen und in den periodisch feuchten Subtropen gebührt dem Wasser (Niederschlag) unbestritten der Vorrang vor der kaum schwankenden und immer ausreichenden Wärme (Temperatur). In den temperierten Gebieten rückt diese durch den stetigen Rückgang mit zunehmender Breite und der größer werdenden Schwankung immer stärker in den Vordergrund⁶⁸⁾. Ebenso tritt sie in den tropischen Hochgebirgen stärker in Erscheinung durch ihre Abnahme, während hier allerdings die Isothermie, wie im tropischen Tiefland, bestehen bleibt. Man darf außerdem nicht in den Fehler verfallen, das Klima mit den rein physiognomisch betrachteten Pflanzenformationen in Einklang zu sehen, etwa wie es A. F. W. Schimper [62] in seiner Pflanzengeographie 1898 darstellte und in der Neuauflage seines Werkes von v. Faber 1935 wieder übernommen wurde. Schimper nahm eine hygrische Dreiteilung vor in Gehölz, Grasflur und Wüste. Er sprach in den Tropen schließlich von einem „Gehölzklima“ und von einem „gehölzfeindlichen Grasflurklima“ und machte vor allem die Feuchtigkeit dafür verantwortlich. Es ist aber längst erkannt, daß es bezüglich der Niederschlagsmenge und der Dauer der Niederschlagsperiode weit ungünstiger gestellte Gehölzfluren als Grasfluren gibt (etwa den Dornwald [Caatinga] im Gegensatz zur Hochgras-Baumsavanne). Man muß wohl doch an-

⁶⁷⁾ Die Festlegung der Penckschen Areale auf Grund hydrologischer, morphologischer, boden- und vegetationskundlicher Indizien erfolgte für Afrika durch F. Jaeger [161] und für Südamerika durch E. Sorge [331].

⁶⁸⁾ Troll [70], S. 383.

nehmen, wie C. Troll 1935 ([70], S. 385) ausführte, daß Gehölz- und Grasflur sich nicht ausschließen, sondern beide unter gleichen klimatischen Voraussetzungen vorhanden sein können. So ist unter gleichem Klima das Gegenstück zur Feuchtsavanne (im Sinne der Jaegerschen Definition 1945 [34] der regenrüne Feuchtwald (Monsunwald)⁶⁹), zur Trockensavanne der laubwerfende Trockenwald (etwa vom Miombo- oder Mopane-Typus) und schließlich zur Dornsavanne der Dornwald (etwa Caatinga in NE-Brasilien). Können also Gehölz und Grasflur im gleichen Klima existieren, so ist allerdings für die ökologische Erkenntnis der tropischen Grasfluren die Veränderung durch lokalklimatische, edaphische und biotische (Mensch und Tier) Einflüsse von besonderer Wichtigkeit. Man findet so innerhalb der Savanne außerordentlich viele Variationen zwischen den vorhin genannten beiden Extremen eines klimatischen Vegetationstyps⁷⁰).

Edaphische und lokalklimatische Einflüsse, aber auch menschliche, zeigen sich, um hier ein Beispiel anzuführen, in den Campos, aus denen bereits klassische Schilderungen von C. F. P. v. Martius vorliegen und neuerlich von L. Waibel [348] sehr anschaulich mehrere Typen beschrieben werden. An vielen Stellen der Campos treten geschlossene Wälder auf, die wegen der Länge der ariden Zeit dem regenrünen Feuchtwald zuzurechnen sind. Nur in erhöhten, für Steigungsregen gut exponierten Teilen der Campos mögen immergrüne Wälder vorherrschen (Wälder erster Klasse nach Waibel), (z. B. in der Serra da Mata da Corda, im Triangulo Mineiro und im sogen. „Mato Grosso“). Waibels sogen. Wälder zweiter Klasse und die Seradãos gehören zweifellos zu den laubwerfenden Feuchtwäldern. Der Campo Cerrado (lichtes Gehölz), der verbreitetste Typ der Campos, ist typische Feuchtsavanne im Jaegerschen Sinne mit mäßig dicht stehenden breitlaubigen, dornlosen, laubwerfenden Bäumen, deren Flüsse und Bäche von immergrünen Galeriewaldstreifen umsäumt sind. Die als Campo limpo und Campo sujo bezeichneten trockenen Teile mögen vielleicht der Trockensavanne angehören⁷¹).

Sehr klar hat auch C. Troll 1936 ([71], S. 275 ff.) den Einfluß der Tierwelt (biotischer Einfluß) auf den Savannentypus vergleichend für Afrika und Südamerika hervorgehoben. Er unterscheidet drei edaphische Savannentypen:

- a) Überschwemmungssavanne (Dammuferwaldsavanne),
- b) Trockensavanne⁷² (Galeriewaldsavanne),
- c) Schluchtwaldsavanne.

⁶⁹) Der Begriff Monsunwald stammt aus Monsunisien, ist aber auf die regenrünen Feuchtwälder ähnlichen Typs in anderen Kontinenten übertragen worden.

⁷⁰) Troll [71].

⁷¹) Es kann kein Zweifel darüber bestehen, daß viele von Waibel beschriebenen Formen der brasilianischen Campos ökologisch-edaphische Typen der Savanne sind und dem klimatischen Typ der Feuchtsavanne (Jaeger) angehören, wenn auch Waibel in dem erwähnten Aufsatz die Bezeichnung „Savanne“ z. B. für den Campo Cerrado ablehnt, wozu freilich Berechtigung besteht, wenn man noch immer an dem alten Schimperschen Begriff der Savanne als einer hohen Grasflur mit vereinzelt Bäumen festhält.

⁷²) Der Begriff Trockensavanne bei Troll 1936 ist nur edaphisch im Gegensatz zur Überschwemmungssavanne zu verstehen und darf nicht mit dem klimatischen Typ der Trockensavanne in der Jaegerschen Definition von 1945 verwechselt werden.

Alle drei Typen können neben ihrer reinen Ausbildung durch Einwirkung von Termiten (in Afrika Termiten, in Südamerika Blattschneider-Ameisen) noch isoliert stehende immergrüne Waldinseln (Islas) aufweisen, die weitere Varianten darstellen. Alle diese Typen gehören aber zweifellos dem klimatischen Typ der „Savanne“ an. Troll zeigt Beispiele aus eigener Anschauung von Ostafrika (Iringa-Hochland, Hochland von Umbulu, Natal) und von Südamerika (Llanos des Mamoré, Pampa von Santa Cruz). Diese nur angedeuteten Beispiele mögen genügen um zu zeigen, wie verschiedene ökologisch-edaphische Typen der Grasflur klimatisch zu einem Typ gehören können. Erwähnenswert ist in diesem Zusammenhang noch der Einfluß des Menschen, durch den das Landschaftsbild physiognomisch stark geändert sein kann, die klimatischen Grenzen aber geblieben sind⁷³⁾ (Grasbrände und künstliche Bodenzerstörung). Die Grasbrände sind vor allem von W. Busse [103], J. Phillips [198], Perrier de la Bathie [195] und H. Humbert hervorgehoben worden und kommen für Afrika wie für Südamerika gleichermaßen in Frage. Troll hob 1935 ([70], S. 386) hervor, daß solche Brände auch natürlicherweise (Blitzzündung) entstehen können, daher nicht rein anthropogener Natur sind und somit die Frage nach dem Urbild der tropischen Grasfluren sehr komplizieren.

Für den Vergleich der Isohygromenen mit den Vegetationsformationen ergeben sich weiterhin große Schwierigkeiten dadurch, daß in der Terminologie und in der Abgrenzung der Vegetationsgebiete durch die verschiedenartigen Betrachtungsweisen noch immer keine Ordnung geschaffen ist. Vor allem ist von seiten der floristischen Pflanzengeographie frühzeitig eine Terminologie eingeführt worden, durch die in der Folgezeit Verwirrungen entstanden, die bis heute noch nicht restlos beseitigt sind. Die Vermischung von floristischer, physiognomischer und ökologischer Betrachtungsweise hat daher eine begriffliche Gliederung der Vegetationsverhältnisse bisher sehr erschwert. In vorliegender Darstellung kommt es darauf an, ökologisch-edaphische Typen der Vegetation unter gleichen klimatischen Voraussetzungen als „klimatische Vegetationstypen“ aufzufassen und diese mit der entworfenen Isohygromenenkarte zu vergleichen.

Für die beiden Kontinente Afrika und Südamerika sind bereits eine Reihe von Vegetationskarten entworfen worden, für die hier auf das Literaturverzeichnis hingewiesen sei⁷⁴⁾.

II. Zusammenfassender Vergleich der Isohygromenen mit den tropischen und subtropischen Vegetationsgürteln in Afrika und Südamerika (inkl. der gemäßigten Breiten Südamerikas).

F. Jaeger [34] schlägt für die Tropen folgende Gliederung der Vegetationsformationen vor:

1. Tropischer Regenwald,
2. Feuchtsavanne,

⁷³⁾ Troll [70], S. 386.

⁷⁴⁾ Für synonyme Bezeichnungen von Vegetationsformationen bei verschiedenen Autoren, mit denen sich der Verfasser eingehend auseinandergesetzt hat, sei auf Tab. I (Anhang) hingewiesen.

3. Trockensavanne (anbaufähig),
4. Dornsavanne (nicht anbaufähige Trockensavanne),
5. Halbwüste (Wüstensteppe),
6. Vollwüste.

Feucht- und Trockensavanne sind bei ihm durch die Pencksche Trockengrenze geschieden, die anbaufähige und nicht anbaufähige Trockensavanne durch die Trockengrenze des Regenfeldbaues (Falkner [130/131]), oder agronomische Trockengrenze (Troll [219]). Daß in der Hauptsache auf die Einteilung F. Jaegers (1945) zurückgegriffen wird, heißt nicht, daß seine Einteilung der tropischen Vegetationsformationen einfach hingenommen würde. Der Verfasser hat sich vielmehr nach eingehendem Literaturstudium mit allen Gliederungsversuchen auseinandergesetzt (vgl. Tabelle I (Anhang)). Die Jaegersche Gliederung hat den Vorzug, Vegetations- und Trockengrenzen als unmittelbaren Ausdruck des Klimas miteinander zu verbinden. Diese Tatsache ist gleichsam auch anregendes Moment, das Problem der Vegetationsgliederung klimatisch von der Humidität bzw. Aridität her anzufassen.

Es ist für Afrika und Südamerika unter Benutzung der vorhandenen Vegetationskarten und der zur Verfügung stehenden Literatur je eine Karte der klimatischen Vegetationstypen entworfen worden (vgl. Karte 1, 2), in die auch die für die Begrenzung der einzelnen Vegetationsgebiete wesentlichen Isohygromenen eingetragen sind.

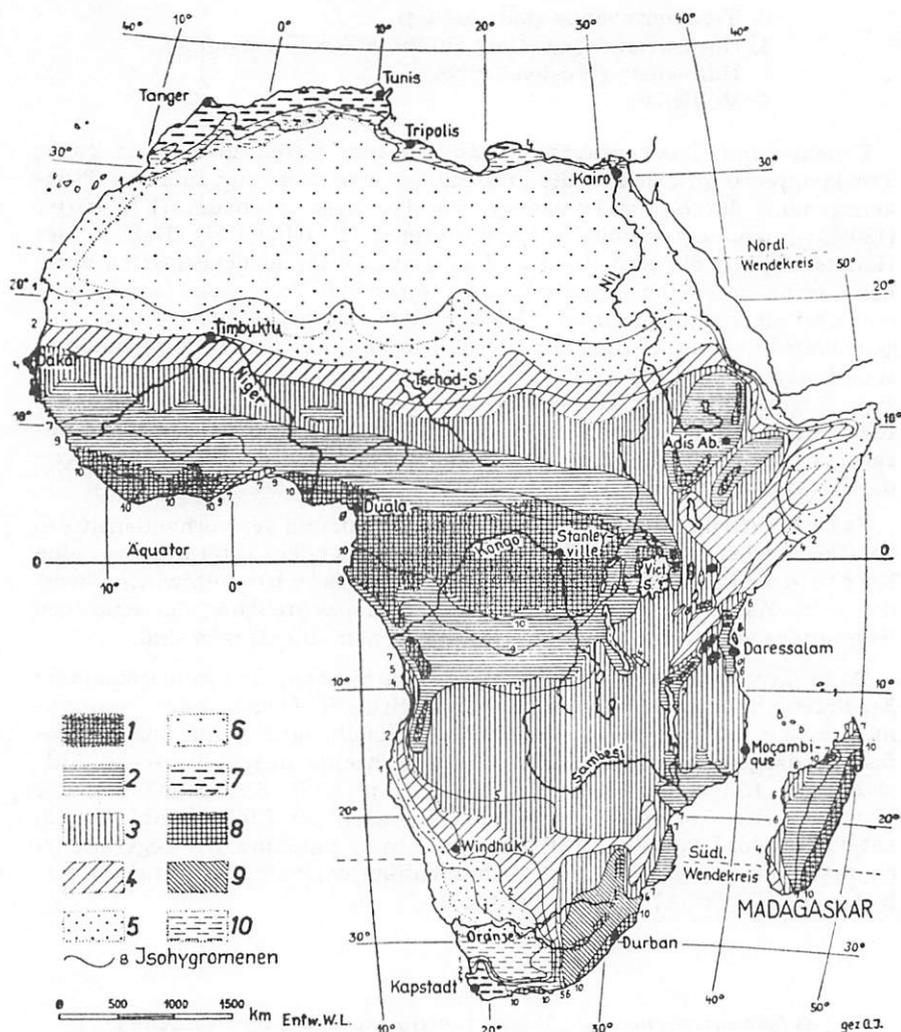
Da in dieser Arbeit in der Hauptsache nur Methode und klimatologische Ergebnisse herausgestellt werden sollen, wird der Vergleich der Isohygromenen und der vegetationskundlichen Großgliederung nur zusammenfassend dargelegt. Die Ergebnisse sind gleichzeitig in tabellarischen Aufstellungen festgehalten (vgl. Tab. II, III. (Anhang)). Zur Ergänzung der Karten in den Gebirgsländern sind eine Anzahl Profile (vgl. Abb. 11, 12) entworfen worden, die die Zahl der humiden Monate und den Vegetationscharakter zeigen. Bei den Vegetationsprofilen wurde vielfach auf die Arbeiten von C. Troll zurückgegriffen⁷⁵⁾.

a) Isohygromenen und Vegetationsformationen im tropischen Afrika und Südamerika.

1. Humide Monate und immergrüner tropischer Regenwald.

Die Grenze zwischen dem tropischen Regenwald und der Savanne ist in allen Vegetationskarten deshalb gut erfaßt, weil hier eine Gehölzflur (immergrüner ombrophiler Regenwald) durchweg in eine mehr oder weniger deutlich ausgeprägte Grasflur, oder aber in tropophilen regengrünen Feuchtwald (Monsunwald) übergeht, der in der Trockenzeit sein Laub abwirft. Meist ist dieser Waldtypus aber nicht im gesamten Feuchtsavannen-

⁷⁵⁾ Vier Profile in den südamerikanischen Anden sind nach [342], Taf. 9, ein Profil in SE-Afrika ist nach [219] gezeichnet.



Karte 1: Humide bzw. aride Monate und die klimatischen Vegetationstypen in Afrika

- Zeichenerklärung: 1 = Tropischer Regen-Berg- und Höhenwald
 2 = Feuchtsavanne bzw. regengrüner Feuchtwald (Monsunwaldtyp)
 3 = Trockensavanne bzw. regengrüner Trockenwald (Miombowaldtyp)
 4 = Dornsavanne bzw. regengrüner Dorn- und Sukkulentenwald
 5 = Halbwüste bzw. Wüstensteppe (Halbstrauch- und Sukkulentensteppe)
 6 = Wüste
 7 = Mediterrane und kapländische Hartlaubgehölze
 8 = Subtropischer Küstenbusch und temperierter Bergwald
 9 = Außertropisches Grasland (Mittel- und Hoogeveld)
 10 = Außertropische Dorn- und Wüstensteppe (Karru)

Die Zahl der humiden Monate wird durch die Ziffer an den Isohygromenen angegeben, wobei z. B. die Linie 7 den Bereich von 6 und 7 humiden Monaten trennt. Sinngemäß sind die anderen Ziffern zu lesen. (Vgl. Skala auf Tafel 1). Der besseren Übersicht halber sind nicht alle Isohygromenen eingetragen (s. Tafel I).

bereich zu finden⁷⁶), sondern bildet das Zwischenglied zwischen offener Savanne und Regenwald⁷⁷).

Der immergrüne Regen-, Berg- und Höhenwald findet seine Grenze im allgemeinen an der Isohygromene 10, d. h. also: bei mehr als zwei ariden Monaten setzt geschlossen Entlaubung der Tropenbäume ein, die Üppigkeit (stockwerkartiger Aufbau und Epiphytenreichtum) läßt nach, der Waldtypus wird allmählich ein anderer.

Im Kongobecken und in vielen anderen kleinen Gebieten mit Regen-, Berg- und Höhenwaldbeständen (Nordwestrand des Victoria-Sees, Abessinien, Madagaskar, ostafrikanische Bergländer)⁷⁸), weicht die Grenze des immergrünen ombrophilen Waldes kaum von der genannten Linie (Isohygromene 10) ab. Auch in Südamerika zeigt sich diese Beziehung, wenn auch im Amazonasbecken der Nachweis durch Stationen nicht einwandfrei geführt werden kann⁷⁹). In Nordkolumbien, in den tropischen Anden, am Abfall des brasilianischen Berglandes zur Küste zwischen Bahia und Rio de Janeiro und schließlich von dort nach dem Paraná hin, ist diese Gesetzmäßigkeit auffallend. Die scharfe Vegetationsscheide des Paraná ist sicher anthropogener Natur⁸⁰). Eigentümlich verhält sich dagegen ein kleines Areal immergrünen Regenwaldes im ecuatorianischen Tiefland, da die notwendige Feuchtigkeit dort aus sommerlichen Niederschlägen und winterlichen Nebeln resultiert. Der winterliche Nebel aber erzeugt keinen tropfbar-niederschlag, so daß durch unsere angewandte Formel im Winterhalbjahr keine humiden Klimawerte errechnet werden konnten. Diese Regenwaldgebiete sind im ecuatorianischen Küstenland örtlich auf einzelne Küstenerhebungen beschränkt⁸¹). Ähnliche Nebelwälder hat C. Troll in Afrika, im südnubischen Küstengebirge, beschrieben [220].

Lediglich in Gebieten erhöhten Niederschlags während der humiden Zeit greifen die Bestände des immergrünen Regenwaldes in den Bereich von neun humiden Monaten ein, ohne jedoch die Isohygromene 9 zu unterschreiten (z. B. an der Gabunküste (Niederschlag über 2000 mm), im Guineabusen, an der Nigermündung, an der Küste von Sierra Leone (Niederschlag über 4000 mm)). Bei Conakry tritt z. B. bei 4500 mm Niederschlag kein immergrüner Regenwald mehr auf, da fünf ausgesprochen aride Monate dort herrschen. Allerdings ist dort in der „Zone Casamancienne“ (nach Chevalier) ein besonders üppiger laubwerfender Feuchtwald entwickelt⁸²). Auch im Südosten des Amazonas-Waldgebietes⁸³) unterstützt

⁷⁶) Für das Auftreten von regengrünem Feuchtwald (Monsunwald) in Afrika und Südamerika, vgl. Thomson [215]; Aubréville [90]; Franke [140]; Wirtschaftskarte von Mittel- und Südafrika [228], Nr. 4; Pittier [310]; Troll [341]; Denis [241].

⁷⁷) Dies ist aber nach Aubréville [90] vorwiegend auf anthropogene Zerstörung des Feuchtwaldes in Richtung auf den immergrünen Regenwald zurückzuführen, wenn nicht edaphische Gründe den Baumwuchs verhindern (z. B. im Amazonas-Gebiet). Vgl. auch Lebrun [174, 175]; Troll [219].

⁷⁸) Vgl. hierzu Vegetationskarten bei Lebrun [174]; Troll [219]; Gillman [146]; Chevalier [107]; Wirtschaftskarte von Mittel- und Südafrika [228] Nr. 3/4.

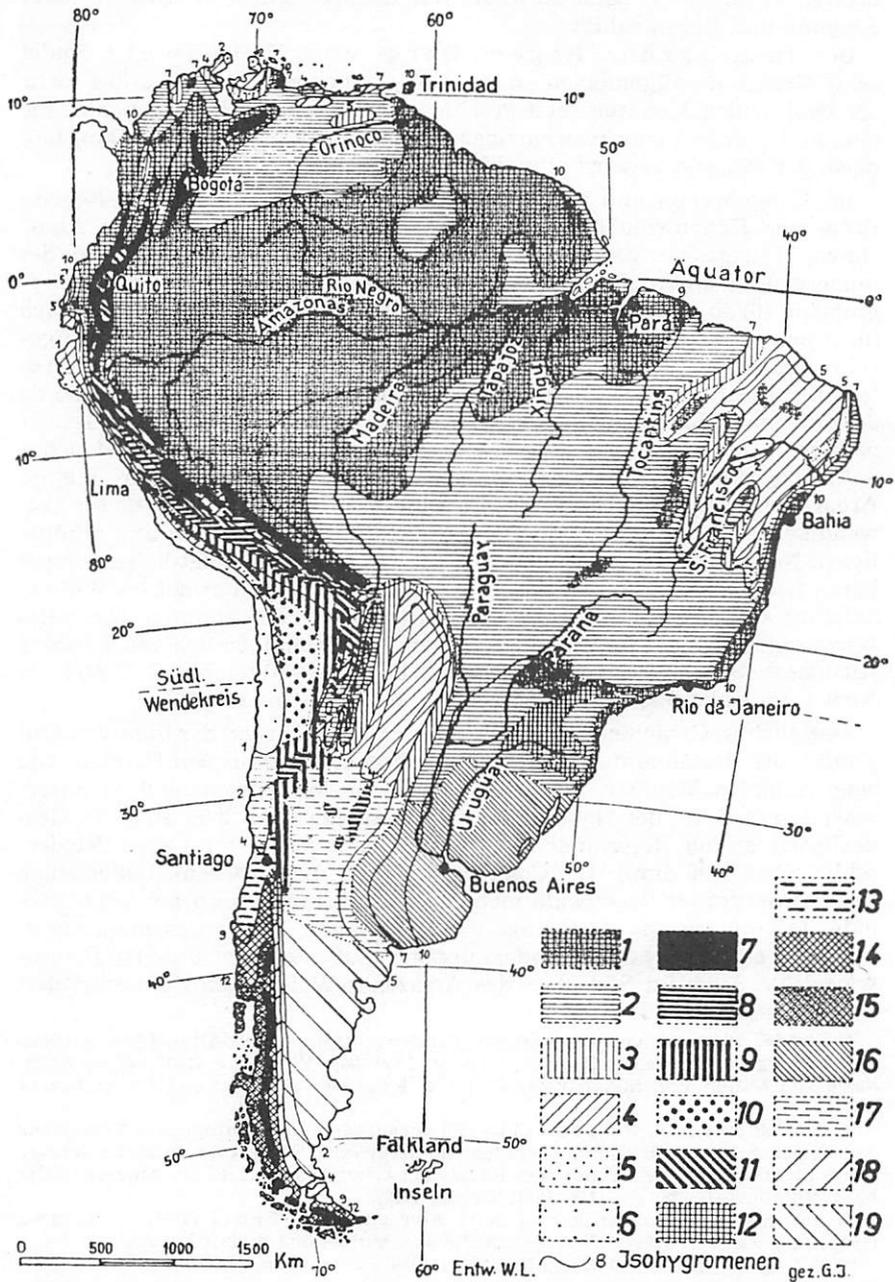
⁷⁹) Vgl. hierzu Koegel [286]; Pittier [310]; Treumer [335]; Toledo [334]; Ule [344].

⁸⁰) Knoche [280]; Maack [296].

⁸¹) Troll [343].

⁸²) Vgl. hierzu Chevalier [105]; Atlas d. Col. Franc. [149]; Niehoff [190]; Müller [189]; Koops [172]; Aubréville [88, 89, 90, 91]; Franke [140].

⁸³) Hoehne [262].



Karte 2: Humide bzw. aride Monate und die klimatischen Vegetationstypen in Südamerika
 (Ablesen der Zahl der humiden Monate siehe Legende von Karte 1.)

- Zeichenerklärung:**
- 1 = Tropischer Regen-Berg- und Höhenwald
 - 2 = Feuchtsavanne (Campos, Llanos) bzw. regengrüner Feuchtwald
 - 3 = Trockensavanne bzw. regengrüner Trockenwald (Zebilwaldtyp)
 - 4 = Dornsavanne bzw. Dorn- und Sukkulentenwald (Caatingatyp)
 - 5 = Halbwüste bzw. Wüstensteppe (Halbstrauch- und Sukkulentensteppe)
 - 6 = Wüste
 - 7 = Páramo
 - 8 = Feuchtpuna
 - 9 = Trocken- und Dornpuna
 - 10 = Halbwüsten- und Wüstenpuna
 - 11 = Trocken-Dornbusch der mittleren andinen Höhenstufe (Sierra-vegetation)
 - 12 = Immergrüner subtropischer Höhenwald (Araukarien- und Podocarpuswald)
 - 13 = Chilenische Hartlaubgehölze
 - 14 = Außertropischer Mischwald (Nothofagus)
 - 15 = Immergrüner patagonisch-feuerländischer Regenwald
 - 16 = Außertropische Grassteppe (Pampa)
 - 17 = Außertropische Dorn- und Wüstensteppe (Monte, Chañar, Espinal)
 - 18 = Patagonische Waldsteppe und Buschwald
 - 19 = Patagonische Hartgras- und Dornsteppe

das reichhaltig durch die Andenflüsse zur Verfügung stehende Bodenwasser das Vorkommen immergrüner Bäume (immergrüne Wälder bei PORTO VELHO und SENNA MADUEIRA bei neun humiden Monaten).

K ö p p e n hat bereits 1919 [40], S. 7 die Urwald-Savannengrenze durch die Dauer der Regenzeit (nicht Regenmenge) definieren wollen. Er ersetzte allerdings dann in seiner Klimaklassifikation, die auf Niederschlagsmenge und Temperaturwerten basiert, die Dauer der Trockenzeit durch die Regenmenge in den trockensten Monaten und brachte zur Abgrenzung seiner Af-Am- und Aw-Klimate diese in Beziehung zur jährlichen Regenmenge, wie sein bekanntes Schema im Handbuch der Klimatologie [43] zeigt. H. v. W i s s m a n n ([84], S. 9 ff.) hat dieses Schema zur Abgrenzung seiner IA-IF- gegen die IT-Klimate übernommen, aber ebenfalls unter dem nachdrücklichen Hinweis, daß man besser die Dauer der Trockenzeit als Kriterium heranziehen müsse. Er schlägt dort sogar vor, die genannte Grenze durch die Dauer der humiden bzw. ariden Zeit zu bestimmen unter Verwendung eines der oben genannten Humiditätsindizes. Daß die Regenmenge allein zur Bestimmung der Regenwald-Savannengrenze unzureichend ist, geht aus dem Vergleich der Isohyeten mit den Vegetationskarten und den Isohygromenen hervor. Außerdem, so konnte der Verfasser durch Vergleich feststellen, tritt in Afrika der immergrüne Regenwald schon bei geringeren Niederschlägen als in Südamerika auf. Im Kongobecken genügen bereits 1500 bis 1600 mm Niederschlag⁸⁴⁾, während in Südamerika die Niederschlagsmenge im allgemeinen 1800 bis 2000 mm beträgt.

In Anlehnung an das K ö p p e n s c h e Diagramm zeigt Abb. 10 die Beziehungen zwischen Niederschlagsmengen und der Zahl der humiden Monate an der Urwald-Savannengrenze in Afrika und Südamerika. Daraus geht hervor, daß immergrüner Regenwald bei dauernd humidem Klimazustand bereits bei wenig mehr als 1000 mm Niederschlag möglich ist. In den andinen Hochtälern (z. B. in der Nähe von Bogotá) findet sich immer-

⁸⁴⁾ J a e g e r [161, 34].

grüner Bergwald unter den genannten Bedingungen. Auch der „Knysna-Forest“ zwischen Mosselbay und Port Elizabeth im subtropischen Südafrika kann als Beispiel hierfür dienen.

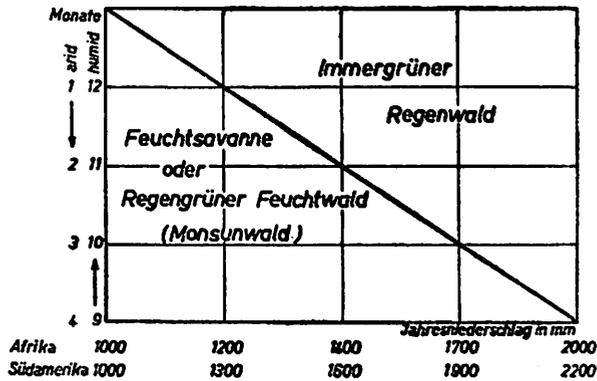


Abb. 10: Die Zahl der humiden bzw. ariden Monate und die jährliche Niederschlagsmenge an der Urwald-Savannengrenze

2. Humide Monate und Feuchtsavanne.

Der Bereich von neun humiden Monaten leitet im allgemeinen zu dem klimatischen Vegetationstyp der Feuchtsavanne (Jaeger 1945) über, der in mehreren ökologisch-edaphischen Untertypen vom regen-grünen Feuchtwald (Monsunwald) bis zur reinen Hochgras-Savanne vorkommt. Kennzeichnend für die Feuchtsavanne ist eine Mischung von hygrophilem und xerophilem Charakter, wobei aber die Hygrophilie durchaus überwiegt. Sie drückt sich vor allem in den feuchten immergrünen Galeriewäldern an den dauernd fließenden Flüssen, in den großlaubigen, dornlosen, hohen Bäumen der Monsunwälder und der übrigen einzelstehenden Bäume der Savanne und schließlich in der Höhe des Grases (übermannshoch) aus, der als xerophil vor allem der Laubfall der Bäume in der Trockenzeit gegenübersteht.

Der Jaeger'schen Feuchtsavanne entspricht der von den meisten deutschen Autoren⁸⁵⁾ als Savanne (feuchterer Teil des tropischen Graslandgürtels) bezeichnete tropische Vegetationsgürtel. Passarge [57] und Jessen [165] vermeiden den Begriff Savanne und sprechen von Feuchsteppe oder Galeriewaldsteppe. In der Chevalierschen Gliederung [105] des Sudans heißt diese Zone „Zone guinéenne ou des savannes subforestières avec galerie“. Schließlich entspricht sie bei Shantz [213] der „High grass low tree savanna“ (vgl. hierzu Tab. I. [Anhang]). In Südamerika bezeichnet Troll [341] die Llanos, Campos und Sabanas als Savannen. Bei Denis [241] werden diese Gebiete „Paysage du parc“, also Parklandschaften, genannt, ein Begriff, der auch in der deutschen Literatur überall als Charakteristik der Savannen zu finden ist. Den edaphischen Untertyp der Überschwemmungssavanne bezeichnet er „Praeries inondab-

⁸⁵⁾ Waibel [224]; Schimper [62]; Jaeger [160].

les et marécageux“ und die Campos „Campos cerrados avec forêts galleries“, also Galeriewaldsavanne.

Die Grenze der Feucht- zur Trockensavanne stimmt nahezu in allen Savannengebieten der beiden Kontinente mit der Isohygromene 7 überein (vgl. Karten 1, 2). Derselben Linie läuft auf weiten Strecken die für Afrika von F. Jaeger [161]⁸⁶⁾ und für Südamerika von E. Sorge [331] gezeichnete Penck'sche Trockengrenze parallel. Sie weicht jedoch verschiedentlich durch edaphische Faktoren⁸⁷⁾ in den Bereich von sechs humiden Monaten ab. An zwei Stellen greift die Feuchtsavanne, die in Afrika in einem geschlossenen Ring um den immergrünen Regenwald des Kongobeckens und der Guineaküste auftritt⁸⁸⁾ — vor allem charakterisiert durch das Aufhören der Galeriewälder⁸⁹⁾, der immergrünen Bestände auf den feuchten Termiten-Inseln⁹⁰⁾ und das Aufhören des allgemeinen hygrophilen Charakters der einzelstehenden Savannenbäume (Großlaubigkeit, Dornlosigkeit) — über die Isohygromene 7 hinüber, nämlich im westlichen Sudan und Madagaskar. In beiden Fällen vermögen die günstigen Niederschlagsverhältnisse mindestens einen weiteren Monat edaphische Humidität bei klimatischer Aridität hervorzurufen.

In Südamerika treten die typischen Feuchtsavannen in allen edaphischen Untertypen⁹¹⁾ in den Llanos des Orinoco⁹²⁾, des Mamoré⁹³⁾, der Campos Brasiliens, in den Savannen Nordkolumbiens, des unteren Amazonas⁹⁴⁾ und am Rio Branco, aber auch die randtropischen Monsunwälder der östlichen Andenhänge in NW-Argentinien und des paraná-paraguayischen Monsunwaldgebietes und einzelne Feuchtwaldbestände in Venezuela und Kolumbien im Bereich zwischen sieben und neun humiden Monaten auf. Die große Aufschüttungsebene der Llanos des Orinoco stellt vorwiegend Galeriewaldsavanne dar. Humboldt [236] hat sie schon beschrieben. Am unteren Apure tritt auch die Überschwemmungssavanne als Dammuferwald-(Bancowald-)Savanne im Sinne Troll's auf. In den Llanos des Mamoré herrscht die Überschwemmungssavanne (sowohl Bancowald- als auch Termiten-Insel-Savanne)⁹⁵⁾ vor. Der im Feuchtsavannenbereich des Berglandes von Chiquitos-Velasco liegende laubwerfende Hochwald ist nach Troll [71] als Monsunwald anzusprechen. Ebenso gehören zu diesem Typus die randtropischen Wälder der Andenhänge zwischen Santa Cruz und Tucumán. Nur an gut exponierten Stellen findet sich immergrüner Podocarpuswald bei mehr als zehn humiden Monaten.

⁸⁶⁾ Vgl. hierzu auch Dörner [118]. (Der Verlauf der Penck'schen Trockengrenze konnte an einigen Stellen durch Heranziehung neuerer Literatur verbessert werden.)

⁸⁷⁾ Gillman [145].

⁸⁸⁾ Für Verbreitung der Savannengebiete in Afrika vgl. neben den großräumigen oben schon erwähnten Vegetationskarten: Müller [189]; Chevalier [105]; Koops [172]; Bruel [149]; Schweinfurth [211]; Chipp [108]; Broun [101]; Niehoff [190]; Hurst und Philipps [159]; Höller [157]; Gillman [146].

⁸⁹⁾ Jaeger [34]; Passarge [57]; schon Schweinfurth war 1868 [211] die enge Bindung der Galeriewälder an austretende Quellen bei dauernd flächenhaft vorhandenem Grundwasser aufgefallen.

⁹⁰⁾ Troll [71].

⁹¹⁾ Troll [71].

⁹²⁾ Müller [304].

⁹³⁾ Troll [71].

⁹⁴⁾ Huber [264, 265]; Katzer [273].

⁹⁵⁾ Troll [71], S. 312; Nordenskjöld [308].

Ein besonderes Problem bildet die Entstehung der Savannen am unteren Amazonas⁹⁶⁾ (vorwiegend Überschwemmungssavannen). Wesentlich für unsere Darstellung ist die Tatsache, daß ein klimatischer Unterschied zwischen den immergrünen Regenwaldgebieten am oberen Amazonas und der Feuchtwälder bzw. Überschwemmungssavannen am unteren Amazonas vorliegt, der sich auch in der Isohygromenenkarte deutlich ausprägt. Von den verschiedenen ökologisch-edaphischen Varianten der Campos Brasiliens, die durchweg dem klimatischen Typ der Feuchtsavanne angehören, war schon oben ausführlich die Rede (S. 69). Jedenfalls liegt der gesamte Bereich der Campos zwischen der Isohygromene 7 und 10. Dieselben Feuchtsavannentypen (Galeriewaldsavanne, Überschwemmungssavanne und Monsunwälder⁹⁷⁾ treten auch in Nordkolumbien und Venezuela auf.

3. Humide Monate und Trockensavanne.

An der Isohygromene 7 und der meistens damit übereinstimmenden Penckschen Trockengrenze beginnt die (anbaufähige) Trockensavanne (Jaeger 1945). Bei Shantz [213] heißt diese Zone in Afrika „Acacia tall grass savanna“, z. T. auch „dry forest“ (im Miombowaldbereich). Thorbecke und die meisten übrigen deutschen Autoren nennen diese Zone schlechtweg Steppe (einschließlich Trockenwald), zu der aber meist auch noch der feuchtere Teil der Dornsteppe gerechnet wird. Waibel dagegen [224] scheidet nur den Trockenwald aus, läßt aber im westlichen Sudan die Savanne gleich an die Dornsteppe grenzen (vgl. Anhang, Tab. 1).

In Südamerika ist diese Steppen- und Trockenwaldzone bisher als klimatischer Typ nicht besonders ausgeschieden worden, allenfalls bei Sievers 1896 [329], der für Venezuela den Trockenwald als eigene Formation in seine Karte eingetragen hat. Lediglich Troll [71] hat bisher auf die Ähnlichkeit (in Physiognomie und Lebensformen) der afrikanischen Miombowälder und der nordwestargentinischen und südostbolivianischen Zebilwälder hingewiesen.

Auch der Bereich der Trockensavanne, der ebenfalls in mehreren ökologisch-edaphischen Varianten auftritt, findet eine auffällige Übereinstimmung mit der Zahl der humiden bzw. ariden Monate. Charakteristisch ist in diesem Bereich das Auftreten des regengrünen, licht stehenden, mäßig hohen Trockenwaldes mit einheitlichem Bestandsaufbau, dornlosen, fiederlaubigen Bäumen und geringem Grasunterwuchs (Miombo- und Mopane-wälder in Angola⁹⁸⁾, Katanga⁹⁹⁾, Rhodesien¹⁰⁰⁾ und Ostafrika¹⁰¹⁾; *Terminalia*- und *Bauhinia*wälder in Kamerun¹⁰²⁾, Nigerien und Abessinien¹⁰³⁾; Zebilwälder (*Piptadenia* und *Tipuana*) in NW-Argentinien

⁹⁶⁾ Vgl. hierzu die Kontroverse Huber / Katzer [264, 265, 273].

⁹⁷⁾ Vgl. Vegetationskarte von Sievers [329]; Pittier [310]; Troll [341].

⁹⁸⁾ Marquardsen [180]; Warburg u. Baum [227]; Jessen [165, 166].

⁹⁹⁾ Guillemain [150].

¹⁰⁰⁾ Henckel [155].

¹⁰¹⁾ Gillman [146].

¹⁰²⁾ Passarge [183].

¹⁰³⁾ Troll u. Schottenloher [221].

und Paraguay¹⁰⁴); Mimosenwälder (Mimosos) in NE-Brasilien¹⁰⁵); Trockenwälder in Venezuela¹⁰⁶) neben offenen, meist als Steppe bezeichneten Savannentypen, vielfach mit Palmen (*Hyphaene* und *Borassus* oder einigen großen, meist sukkulenten Bäumen (Baobab in Afrika oder Algarrobo in Südamerika). Die nur noch periodisch fließenden Flüsse sind von Uferwäldern xerophiler Prägung gesäumt.

Im West-Sudan tritt vorwiegend der offene Typus der Trockensavanne in Erscheinung, dort von Chevalier als „Zone soudanaise ou de la brousse-parc“ bezeichnet. Südamerika zeigt im Gegensatz zu Afrika nur geringe Verbreitung der Trockensavanne. Außer den bereits genannten Trockenwaldgebieten finden sich offene Trockenwaldformationen als schmaler Saum offener Parklandschaften um die Chaco-Dornwälder bei etwa sechs humiden Monaten¹⁰⁷). Außerdem ist dieser Typus beim Übergang von den Feuchtsavannen zu den Dornsavannen in NE-Brasilien¹⁰⁸), in Kolumbien und Venezuela¹⁰⁹) anzutreffen.

Die Trockensavanne tritt in Afrika zwischen den Isohygromenen 7 und 4 auf (vgl. Karten 1, 2). Die Linie 4 stimmt in auffälliger Weise weitgehend mit der klimatisch möglichen Grenze des Ackerbaues auf Regenfall¹¹⁰) (agronomische Trockengrenze nach Troll [219]) überein. In Südamerika liegt der Übergang zur Dornsavanne bereits an der Isohygromene 5. Daß die Flächen gleicher humider Monate in auffallender Weise die großen Trockenwaldareale im südlichen Afrika (weite Flächen mit fünf und sechs humiden Monaten) und die geringe Verbreitung dieser Gebiete in Südamerika wiedergeben (nur sehr gedrängter Linienvverlauf zwischen sieben und vier humiden Monaten) ist wohl kaum ein Zufall, denn sie geben über die bisher kaum geklärte Frage nach der klimatischen Bedingtheit der ausgedehnten Trockenwälder in Afrika und der geringen Verbreitung dieser in Südamerika gewissen Aufschluß. Das Zusammenspiel von Niederschlag und Temperatur in Form der Zahl der humiden Monate gibt anscheinend dem klimatischen Bild dieser unterschiedlich großen Verbreitungsgebiete der Trockenwälder in beiden Kontinenten ein einheitliches Gepräge, wohingegen die Niederschlagsmenge z. B. im Miombo- und Mopanewald-Bereich in SE-Afrika von 1200 auf 400 mm abnimmt und gewiß kein geeignetes Kriterium für den genannten Vegetationstyp darstellen kann.

4. Humide Monate und Dornsavanne.

Im Bereich von vier humiden Monaten gelangt man schließlich in den Vegetationstyp der Dornsavanne. Regengrüner Dornwald und spärlicher Graswuchs mit Dorn- und Sukkulantenbüschen sind hier die Extreme der einzelnen edaphischen Varianten. Alle Dornbäume und -büsche (Sukkulanten- und Halbsträucher) tragen ausgesprochen xerophilen Cha-

¹⁰⁴) Troll [71]; Schmieder u. Wilhelmy [325]; Kanter [270]; Kühn [291]; Chodat [235]; Herzog [256, 257].

¹⁰⁵) Lützelburg [294, 295].

¹⁰⁶) Sievers [392].

¹⁰⁷) Vgl. hierzu Kanter [270]; Schmieder u. Wilhelmy [325].

¹⁰⁸) Lützelburg [294, 295].

¹⁰⁹) Sievers [329].

¹¹⁰) Falkner [130, 131].

rakter: Sie sind feinfiedrig, kleinblättrig und dornig. Das Gras wird noch kniehoch und steht in den trockneren Teilen nur in einzelnen Büscheln.

Die deutschen Autoren nennen diese Zone verhältnismäßig einheitlich Dornsteppe oder Dornbuschsteppe oder auch Dornwald (W a i b e l). P a s s a r g e spricht allerdings von Salzsteppe, die aber wiederum nur die trockneren Teile umfaßt (vgl. Tab. I. Anhang). Bei S h a n t z finden wir die Bezeichnung „Acacia desert grass“, und bei C h e v a l i e r heißt diese Zone im Sudan: „Zone sahélienne ou des épineux“. Für Südamerika nennt T r o l l diese Formationen Trockendornwald (Dornbusch und Dorngestrüpp), während D e n i s von „Brousse xerophile“ neben den Bezeichnungen Chacowald und Caatinga spricht. In Afrika finden wir die Dornsavanne als reine Dornwälder im Sudan (Nordadamaua)¹¹¹⁾, aber auch im westlichen Sudan¹¹²⁾. W a i b e l [224] beschreibt sie aus dem Hereroland in der Nordkalahari. In Ostafrika finden wir sie vorwiegend als Dornbuschsavanne oder offene Dornsavanne¹¹³⁾ (Teile der Massai-Steppe) mit wenigen Dornbüschen und Halbsträuchern. In Südamerika sind die größten Dornsavannen das Gran Chaco-Gebiet und das nordostbrasilianische Trockengebiet, neben denen im Norden des Kontinents an der venezolanischen, kolumbianischen, ecuatorianischen und peruanischen Küste sowie in den tief eingeschnittenen Andentälern kleinere Bereiche der Dornsavanne auftreten¹¹⁴⁾ (vgl. Karte 2 und Abb. 12), in denen vor allem der Dividivistrauch und zahlreiche Kakteen charakteristisch sind. In der Chaco- und in der Caatinga-Formation kommen vor allem undurchdringliche, trockene Dornwälder und Dornbuschwälder vor, in der Mimosaceen, Euphorbiaceen und Akazien vorherrschen. In den trockensten Teilen treten Kandelaberkakteen, das Gegenstück der Kandelaber-Euphorbien der Alten Welt, auf. Der niedere, undurchdringliche Dornwald ist aber keineswegs einheitlich. Er wechselt mit Dornbusch und Dornsteppe ab, in denen meist Kandelaberkakteen und Flaschenbäume charakteristisch sind.

Wegen der geringen Ausdehnung der Trockensavannen und dem dadurch bedingten raschen Übergang von der Feucht- zur Dornsavanne tritt der Dornsteppencharakter der Caatinga NE-Brasiliens und der Chaco-Wälder oft schon bei fünf humiden Monaten in Erscheinung. Die aperiodischen Klimaschwankungen und die geringe Anzahl der Niederschlagstage haben hier maßgebenden Einfluß auf die Trockenheit, die durch edaphische Faktoren (Boden) noch verstärkt ist. Die Vegetation aber paßt sich dieser besonderen klimatisch und edaphisch bedingten Trockenheit an. Klimatische Mittelwerte sind deshalb in diesen Gebieten zur Abgrenzung der Vegetationsareale weniger geeignet.

5. Humide Monate und Halbwüste.

Die Gebiete der Dornsavanne werden im allgemeinen im Bereich von einem humiden Monat durch den Vegetationstyp der H a l b w ü s t e (J a e g e r 1945) oder W ü s t e n s t e p p e (auch Dorn- und Sukkulentensteppe, T r o l l [219]) abgelöst. Das Gras steht nur noch vereinzelt in Büscheln, und die Dorn-, Halb- und Sukkulentensträucher sind nur noch punkthaft über

111) P a s s a r g e [183].

112) K o o p s [172].

113) G i l l m a n [146].

114) T r o l l [341].

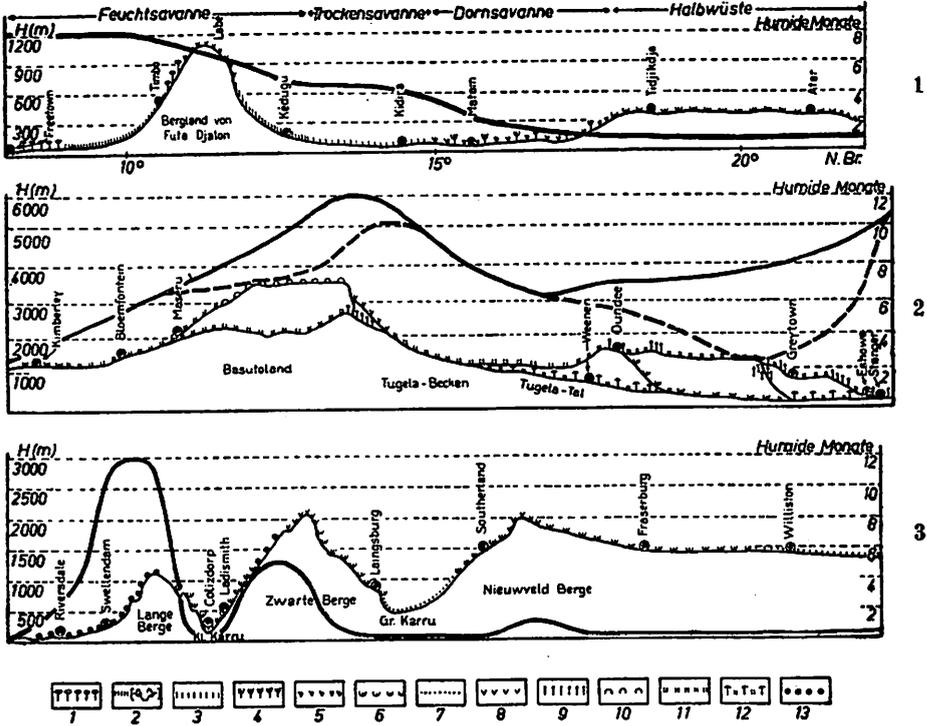
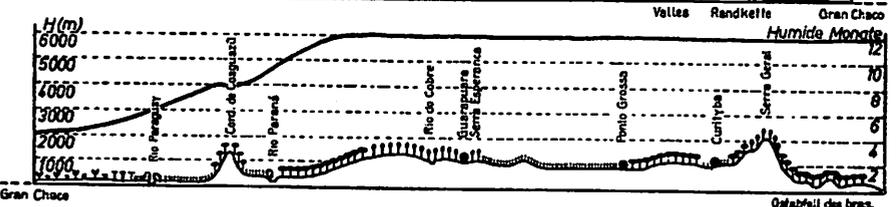
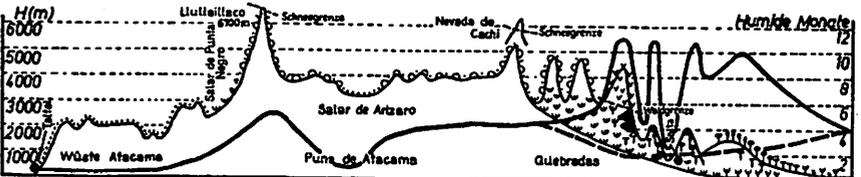
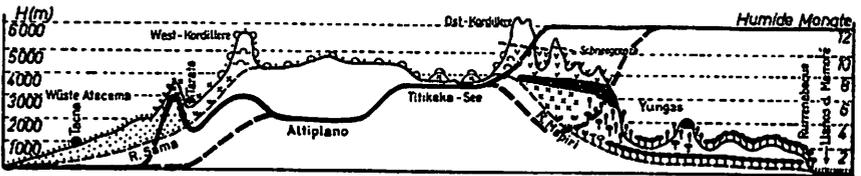
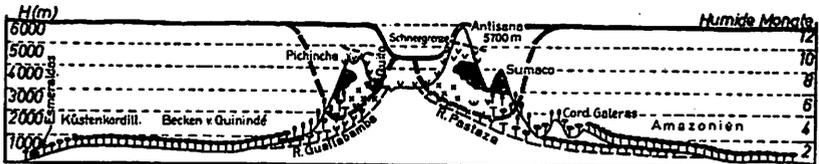
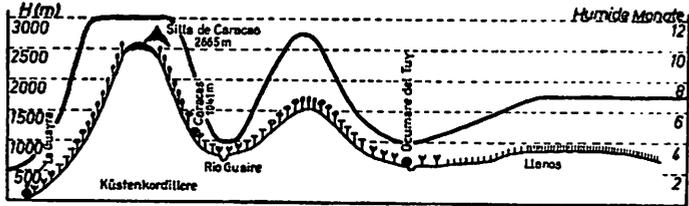
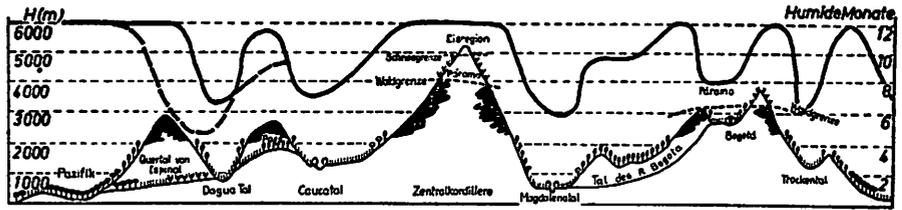


Abb. 11: Profil 1: Humide Monate und Vegetationscharakter im westlichen Sudan (vgl. Tab. 1)

Profil 2: Humide Monate und Vegetationscharakter in SE-Afrika (vgl. Tab. 13)

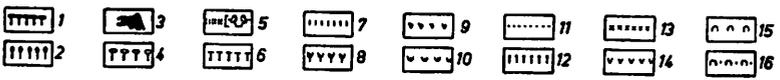
Profil 3: Humide Monate und Vegetationscharakter in Südafrika (vgl. Tab. 12) (Profil 2 im wesentlichen nach C. Troll 1941)

- Zeichenerklärung:
- 1 = regengrüner Feuchtwald (Monsunwald)
 - 2 = Feuchtsavanne (mit Galerie- oder Bancowäldern)
 - 3 = Trockensavanne
 - 4 = Regengrüner Dornwald
 - 5 = Dornsavanne
 - 6 = Halbwüste (Halbstrauch- u. Sukkulentensteppen, auch Karro-Formation (subtr.))
 - 7 = Wüste
 - 8 = Montane Matten, auch Protea-Veld
 - 9 = Subtropisch-temperierter Regenwald und Küstenbusch (z. T. Podocarpus-Wald)
 - 10 = Polsterstrauchvegetation (im Basuto-Hochplateau)
 - 11 = Veld-Formation (Middel- und Hoogveld)
 - 12 = Dorn-Veld
 - 13 = Hartlaubgehölze
- = Zahl der humiden Monate



Gran Chaco

Ostabhil. des bras. Berglandes



- Abb. 12: Profil 4: Humide Monate und Vegetationscharakter in den kolumbianischen Anden (vgl. Tab. 21)
 Profil 5: Humide Monate und Vegetationscharakter in den venezolanischen Anden (vgl. Tab. 20)
 Profil 6: Humide Monate und Vegetationscharakter in den ecuatorianischen Anden
 Profil 7: Humide Monate und Vegetationscharakter in den bolivianischen Anden (I)
 Profil 8: Humide Monate und Vegetationscharakter in den bolivianischen Anden (II) (vgl. Tab. 27)
 Profil 9: Humide Monate und Vegetationscharakter zwischen Gran Chaco und Atlantik (vgl. Tab. 27)
 (Profil 9 ergänzt Profil 8 bis zur Ostküste)

(Die Profile 4, 6, 7, 8 sind im wesentlichen nach C. Troll 1943, Tafel 9, entworfen)

- Zeichenerklärung: 1 = Tropischer Regenwald
 2 = Tropischer Bergwald
 3 = Tropischer Nebel- und Höhenwald
 4 = Regengrüner Feuchtwald (Monsunwaldtyp)
 5 = Feuchtsavanne (mit Galerie- und Bancowäldern)
 6 = Regengrüner Trockenwald (Zebilwaldtyp)
 7 = Trockensavanne
 8 = Regengrüner Dornwald
 9 = Dornsavanne
 10 = Halbwüste (Halbstrauch- u. Sukkulentensteppe)
 11 = Wüste
 12 = Subtropisch-temperierter Regenwald (Podocarpus- und Araucarienwald)
 13 = Mesophytische Gebüsch- und Polylepisgehölze
 14 = Páramo
 15 = Feuchte Puna
 16 = Trocken- und Dornpuna
 ——— = Zahl der humiden Monate

die Fläche verteilt. Typische Halbwüsten treten in Südafrika, aber auch im Sudan auf. Die sudanische Halbwüstenzone zieht sich im Osten am Roten Meer entlang und reicht bis zum Somaliland. In Südamerika haben die trockensten Teile NE-Brasiliens und des venezolanisch-kolumbianischen Trockengebiets Wüstensteppencharakter. An der ariden Westküste beginnt sie noch auf dem ecuatorianischen Gebiet bei La Libertad und nimmt in Nordperu bestimmte Gebiete ein¹¹⁵).

6. Humide Monate und Wüste.

In Gebieten ohne humiden Monat herrscht bei nur episodischen Niederschlägen die Vollwüste, die allerdings nicht völlig vegetationslos sein muß. Wüsten sind in Afrika in größerem Ausmaße vorhanden als in Südamerika. Im Norden leitet die weit ausgedehnte Wüste Sahara in den asiatischen Trockengürtel über. Im Süden ist nur die Küstenwüste Namib als Wüste anzusprechen. Diese findet in Südamerika ihr Gegenstück in der längs der Küste von Peru und Chile sich ausdehnenden Wüste Atacama. Beide Küstenwüsten sind aber nicht völlig vegetationslos, da durch Nebelfeuchtigkeit (Caçimbo in Afrika, Garua in Südamerika) spärlicher Pflanzenwuchs noch möglich ist. Vor allem Zwiebel- und Knollengewächse treten an der pazifischen Küstenwüste als sogen. „Lomavegetation“ auf. Eigentümlich sind die wurzellosen Tillandsien, die ihre Feuchtigkeit direkt aus der

¹¹⁵) Weberbauer [352].

Luft nehmen. In Afrika ist vornehmlich *Welwitschia mirabilis* zu nennen, die in der Namibwüste zwischen Angola und SW-Afrika ihren Standort hat.

b) *Isohygromenen und Vegetationsformationen im subtropischen Afrika und Südamerika (inkl. der gemäßigten Breiten Südamerikas).*

In den sommerhumiden Rand- und Subtropen beider Erdteile liegen die subtropischen Regen-, Berg- und Höhenwälder (Araucarienwälder Südbrasilien, Podocarpuswälder NW-Argentinien, Küstenbusch SE-Afrikas, Berg- und Höhenwälder Südafrikas (Knysna-Forest)) im Bereich von 10 bis 12 humiden Monaten. Die Wälder werden zwischen den Isohygromenen 10 und 6 von den subtropischen Grasländern beider Erdteile abgelöst (Middel- und Hoogveld Südafrikas, Pampa Argentinien). Der feuchtere Teil der Pampa allerdings tritt auch in den Bereichen von 10 bis 12 humiden Monaten auf (Pampa-Problem). Die subtropischen Dorn- und Wüstensteppen (Karru in Südafrika und Monte in Argentinien) finden sich in der Hauptsache zwischen ein und vier humiden Monaten, wobei die feuchteren Teile (zwei bis vier humide Monate) mehr Dornsavannencharakter tragen (Thornveld Südafrikas und feuchtere „Monte-Region“ in Argentinien), während die trockneren Teile (0 und 1 humider Monat) der tropischen Halbwüste und Vollwüste gleichen (eigentliche Karru in Südafrika und trockenste Teile der Monte-Region in Argentinien).

In den winterhumiden Subtropen beider Erdteile (Kapland, mittelmeerisches Afrika, Mittel-Chile) kommen die typischen Hartlaubgewächse bei vier bis neun humiden Monaten vor. Diese Zone kann man wiederum durch die Isohygromene 6 (in den Subtropen gleich der Penckschen Trockengrenze) in eine feuchte (vorherrschende Baumbestände) und trockene Hartlaubzone (vorherrschende Strauchbestände) trennen. Bei neun und mehr humiden Monaten ist eine feuchte Waldvegetation vorherrschend. In Süd-Chile sind es zunächst die außertropischen Mischwälder (Südbuchen), die bei ganzjähriger Humidität in den patagonisch-feuerländischen Regenwald, der bereits in den gemäßigten Breiten liegt, übergehen. Das kapländische Hartlaubgebiet leitet bei zehn humiden Monaten in dem temperierten Regenwald (Knysna-Forest) über, während in Nordafrika in den Gebieten mit fast ganzjähriger Dauer des humiden Zustandes vorwiegend Eichen- und Cedern-Hochwälder (*Quercus lusitanica*, *Cedrus libanotica*) auftreten.

c) *Isohygromenen und Vegetationsformationen der tropischen Hochgebirge.*

Die Vegetations- und Landschaftsgliederung der Hochgebirge, vor allem der Anden, die besonders von C. Troll durch Karten und sehr zahlreiche Profile durchgeführt ist [338, 339, 340, 342], kann in ähnlicher Form durch die Anzahl der humiden Monate gekennzeichnet werden. So liegen die feuchten Páramos, entsprechend den tropischen Regenwäldern des Tieflandes bei 10 bis 12, die feuchte bzw. normale Puna, entsprechend der Feuchtsavanne des Tieflandes bei 7 bis 9, die Trocken- und Dornpuna (Tolazone) entsprechend der Trocken- und Dornsavanne des Tieflandes zwischen 2 und 6 humiden Monaten. Die Wüstenpuna schließlich entsprechend der Halb- und Vollwüste des Tieflandes bei 0 und einem humi-

den Monat. Um den dreidimensionalen Aufbau der Vegetationsgliederung der tropischen Anden, d. h. also die vertikale und horizontale Durchdringung von Klima- und Vegetationszonen bzw. -stufen bezgl. der Zahl der humiden Monate näher zu erfassen, wurde eine schematische Aufstellung erarbeitet, bei der für die trockneren interandinen Täler und Westseiten der Anden für die verschiedenen Höhenstufen die gebräuchlichen Namen „Valle“ und „Sierra“ Verwendung fanden (vgl. Tab. IV (Anhang) und Prof. 4—8, Abb. 12).

Schluß.

Die Zahl der humiden bzw. ariden Monate (Isohygromenen) kann wohl als ein Klimakriterium betrachtet werden, das zum tieferen Verständnis des Klimas beider Kontinente beizutragen vermag und als besonderes Charakteristikum des tropischen und subtropischen Klimas auch für eine Klimaklassifikation Beachtung finden sollte¹¹⁶⁾. Darüber hinaus aber zeigt der Vergleich der Isohygromenen mit den klimatischen Vegetationstypen, daß die naturräumliche Großgliederung Afrikas und Südamerikas, die sich vor allem in dem natürlichen Pflanzenkleid ausdrückt, weitgehend der Abstufung der Zahl der humiden bzw. ariden Monate folgt. So scheint die Frage nach der klimatischen Bedingtheit z. B. der großen Verbreitungsareale des regenrünen Trockenwaldes (Miombowald) im südöstlichen Afrika und in vielen nordafrikanischen Gebieten und die geringe Ausdehnung dieser Bereiche in Südamerika (nur schmale Übergangszonen in NW-Argentinien, Bolivien, Paraguay, NE-Brasilien und im nördlichen Südamerika) durch den Verlauf der Isohygromenen (vgl. die Bereiche von fünf und sechs humiden Monaten in Afrika und Südamerika) einer Lösung nähergebracht zu sein. Damit aber erhält auch die Gliederung der tropischen Vegetationsgürtel nach F. Jaeger (1945), in der zwischen der Feuchtsavanne (einschl. regenrünen Feuchtwald (Monsunwaldtypus)) und der Dornsavanne (einschl. Dorn- und Sukkulantenwäldern (Caatingatypus)) die Trockensavanne (einschl. regenrünen Trockenwald (Miombo oder Zebilytypus)) eingeschaltet wird, ihre Berechtigung.

Die Untersuchung wollte in der vergleichenden Betrachtung geographischer Fragestellungen weiterführen, indem sie Naturräume zweier Erdteile in ihrem klimatischen und vegetationskundlichen Gefüge vergleichend erfaßte. Das Ergebnis zeigt, daß bei der sonstigen ausgeprägten Individualität beider Erdteile doch eine gewisse Übereinstimmung der großen Landschaftseinheiten durch das Klima, vornehmlich durch die Zahl der humiden bzw. ariden Monate, gegeben ist.

¹¹⁶⁾ Vgl. Creutzburg [4].

Literaturverzeichnis.

Allgemeine Literatur über beide Erdteile und Methode der Arbeit

1. **Biel, E.:** E. de Martonne. Eine neue klimatische Funktion, der Trockenheitsindex. *Met. Z.* 1927.
2. **Biel, E.:** Die Veränderlichkeit der Jahressumme des Niederschlags auf der Erde. *Geogr. Jahresber. aus Österreich*, Bd. XIV u. XV, 1929.
3. **Conrad, V.:** Die klimatologischen Elemente und ihre Abhängigkeit von terrestrischen Einflüssen. In: Köppen/Geiger: *Handbuch der Klimatologie*, I. Bd. Teil B. Berlin 1930.
4. **Creutzburg, N.:** Klima, Klimatypen und Klimakarten (mit Weltkarte der Klimatypen der Erde). *Pet. Mitt.* 1950.
5. **Deutsche Seewarte:** Atlas des Atlantischen Ozeans.
6. **Deutsche Seewarte:** Atlas des Indischen Ozeans.
7. **Deutsche Seewarte:** Segelhandbuch für den Atlant. Ozean. Hamburg 1910.
8. **Deutsche Seewarte:** Segelhandbuch für den Stillen Ozean. Hamburg 1897.
9. **Drude, O.:** Die Florenreiche der Erde. *Pet. Mitt. Erg. H. 74.* 1884.
10. **Eberle, O.:** Die Verteilung der extremen Regenschwankungen über die Erde. *Pet. Mitt. Erg. H. 195.* 1927.
11. **Eckardt, W. R.:** Über Luftdruckverteilung und Regenfall in Asien mit besonderer Berücksichtigung der Randgebiete. *Annalen der Hydrogr.* 1916.
12. **Eckardt, W. R.:** Grundzüge einer Physioklimatologie der Festländer. Berlin 1922.
13. **Engler, A.:** Über die floristische Verwandtschaft zwischen tropischem Afrika und Südamerika. *Sitz.-ber. d. Kgl. Preuß. Akad. d. Wiss.* Berlin 1905.
14. **Fischer, H.:** Die Äquatorialgrenze des Schneefalls. *Mitt. d. Vereins f. Erdkunde*, Leipzig 1887.
15. **Galle, P. H.:** Luft- und Wassertemperatur im Indischen Ozean. *Koninklijk Nederlandsch Meteorologisch Inst. Medelingen* 1914.
16. **Goebel, K. v.:** Der Urwald in den Tropen. *Z. f. Natur und Kultur* III. Jg. 1905/06.
17. **Grisebach, A.:** Die Vegetation der Erde nach ihrer klimatischen Anordnung. Leipzig 1872.
18. **Hackenbroich, A.:** Die unperiodischen Schwankungen des Luftdrucks und des Regens im Tropengebiet des Atlantischen Ozeans. *Annalen der Hydrogr.* 1916.
19. **Hann, J.:** Der tägliche Gang der Temperatur in der inneren Tropenzone. Wien 1905.
20. **Hann, J.:** *Handbuch der Klimatologie.* Auflage 1910.
21. **Hann, J.:** Zur Meteorologie des Äquators. *Sitz.-ber. d. Akad. d. Wiss. Math. Phys. Kl.* Wien 1902. Abt. 2a.
22. **Hann-Süring:** *Lehrbuch der Meteorologie.* 5. Aufl. 1943.
23. **Hann-Knoch:** *Handbuch der Klimatologie.* I. Teil. 1932.
24. **Hellmann, G.:** Untersuchungen über die Schwankungen der Niederschläge. *Veröffentl. d. Kgl. Preuß. Met. Inst. Nr. 207, Abh. 3.* Berlin 1908.
25. **Herbertson, A. J.:** The Distribution of the Rainfall over the Land. *Diss.* Freiburg 1901 u. London 1901.
26. **Hettner, A.:** Die klimatischen Regionen der Wasserführung. *Ref. über die Klimaklassifikation von A. Penck.* *Geogr. Z.* 1910.
27. **Hettner, A.:** *Die Klimate der Erde.* *Geogr. Z.* 1911 u. Leipzig 1930.

28. Hirth, P.: Die Isonotiden. *Pet. Mitt. Erg. H.* 1926.
29. Jaeger, F.: Die Gewässer Eurasiens. *Pet. Mitt.* 1935.
30. Jaeger, F.: Die Gewässer Nordamerikas. *Pet. Mitt.* 1938.
31. Jaeger, F.: Die Gewässer Australiens und Ozeaniens. *Pet. Mitt.* 1939.
32. Jaeger, F.: Die Trockenseen der Erde. *Pet. Mitt. Erg. H.* 236, 1939.
33. Jaeger, F.: Neuer Versuch einer anthropogeographischen Gliederung der Erde. *Pet. Mitt.* 1943.
34. Jaeger, F.: Zur Gliederung und Benennung des tropischen Graslandgürtels. *Verhandl. d. Naturf. Ges. Basel*, Bd. LVI, 2. Teil, 1945.
35. Jaeger, F.: Die klimatischen Grenzen des Ackerbaus. *Denkschr. d. Schweiz. Naturf. Ges. Bd. LXXVI, Abh. I*, Zürich 1946.
36. Karsten, G. u. Schenk, H.: *Vegetationsbilder, Jena seit 1903.*
37. Knoche, W.: Der Austrocknungswert als klimatischer Faktor. *Arch. d. dt. Seewarte*, 48. Bd. Nr. 1, Hamburg 1929.
38. Köppen, W.: Versuch einer Klassifikation der Klimate vorzugsweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzenwelt. *Geogr. Z.* 1900.
39. Köppen, W.: Klassifikation der Klimate nach Temperatur, Niederschlag und Jahreslauf. *Pet. Mitt.* 1918.
40. Köppen, W.: Klimaformel und reduzierte Regenmenge. *Met. Z.* 1919.
41. Köppen, W.: Regenmenge an der Trockengrenze. *Met. Z.* 1922.
42. Köppen, W.: Grundriß der Klimakunde. Berlin/Leipzig 1931.
43. Köppen, W.: Die Klimate der Erde. In: Köppen/Geiger: *Handbuch der Klimatologie. I. Bd. Teil C*, 1936.
44. Köppen, W., — Geiger, R.: *Klimakarte der Erde.* Gotha 1928.
45. Krebs, N.: Die Grenzen der Tropen. *Forschungen u. Fortschritte*, 1941.
46. Lang, R.: Versuch einer exakten Klassifikation der Böden in klimatischer und geologischer Hinsicht. *Intern. Mitt. f. Bodenkunde.* 1915.
47. Lang, R.: *Verwitterung und Bodenbildung als Einführung in die Bodenkunde.* Stuttgart 1920.
48. Martonne, E. de: *Traité de Géographie Physique.* Paris 1909. 4. Aufl. 1925.
49. Martonne, E. de: Une nouvelle fonction climatologique: L'indice d'aridité. *La Météorologie.* Okt. 1926.
50. Martonne, E. de: Areisme et l'indice d'aridité. *Comptes Rendus de l'acad. des sciences de Paris.* Vol. 182, 1926.
51. Martonne, E. de: Regions of Interior Basin Drainage. *The Geogr. Rev.* XVII. 1927.
52. Martonne, E. de: Nouvelle carte mondiale de l'indice d'aridité. *Ann. de Géogr.* 1942.
53. Martonne, E. de, u. Aufreret, L.: L'extension des régions privées d'écoulement vers l'océan. *Ann. de Géogr.* XXXVII, 1928.
54. Martonne, E. de, u. Fayol, Mme.: Sur la formule de l'indice d'aridité *Comptes Rendus*, 200, Paris 1935.
55. Maull, O.: Die Bestimmung der Tropen am Beispiel Amerikas. *Festschr. z. 100 Jahrfeier d. Vereins f. Geogr. u. Statistik.* Frankfurt 1936.
56. Meinardus, W.: Eine neue Niederschlagskarte der Erde. *Pet. Mitt.* 1934.
57. Passarge, S.: Die Landschaftsgürtel der Erde. Breslau 1923.
58. Passarge, S.: Landschaftsgürtel und Pflanzenvereine Südafrikas und Australiens. *Die Naturwissenschaften* 1933.
59. Penck, A.: Versuch einer Klimaklassifikation auf physiogeographischer Grundlage. *Sitz.-ber. d. Kgl. Preuß. Akad. d. Wiss. Phys.-math. Kl. XII.* Berlin 1910.
60. Pittelkow, J.: Die Trockengrenze Nordamerikas. *Diss.* Berlin 1928.
61. Reichel, E.: Der Trockenheitsindex, insbesondere für Deutschland. *Tätigkeitsber. d. Preuß. Met. Inst.* 1928.
62. Schimper, A. F. W.: *Pflanzengeographie auf physiologischer Grundlage.* Jena 1898; neubearbeitete 3. Aufl. von A. Faber. 1935.

63. Schneider-Carius, K.: Klimazonen und Vegetationsgürtel im trop. und subtrop. Gebirge. Erdkunde, Bd. 2, 1948.
64. Stefanoff, B.: Versuch zur Darstellung einer parallelen Klassifikation der Klimate und der Vegetationstypen. Sofia 1930.
65. Supan, A.: Verteilung der Niederschläge auf der Erdoberfläche. Pet. Mitt. Erg. H. 124, 1898.
66. Száva-Kováts, J.: Einige Bemerkungen zu den Isonotiden. Pet. Mitt. 1927.
67. Száva-Kováts, J.: Klimasystem der Feuchtigkeit (mit Karte). Pet. Mitt. 1940.
68. Thornthwaite, C. W.: The climate of North-America. Geogr. Rev. 1931.
69. Thornthwaite, C. W.: The climate of the Earth, Geogr. Rev. 1931.
70. Troll, C.: Gedanken und Bemerkungen zur ökologischen Pflanzengeographie. Geogr. Z. 1935.
71. Troll, C.: Termitensavannen. Länderkundl. Forschungen. Festschrift f. N. Krebs. 1936.
72. Troll, C.: Studien zur vergleichenden Geographie der Hochgebirge. Berichte der 23. Hauptversammlung der Gesellschaft von Freunden und Förderern der Rh.-Fr.-W. Univ. zu Bonn, am 2. Nov. 1940, 1941.
73. Troll, C.: Thermische Klimatypen der Erde. Pet. Mitt. 1943.
74. Troll, C.: Der asymmetrische Aufbau der Vegetationszonen und Vegetationsstufen der Nord- und Südhalbkugel. In: E. Rübél u. W. Lüdi: Bericht über das geobotanische Forschungsinstitut Rübél in Zürich. 1948.
75. Troll, C.: Der subnivale oder periglaziale Zyklus der Denudation. Erdkunde, Bd. 2, 1948.
76. Troll, C.: Europäische Tropensiedlung, ihre Aussichten und Grenzen. Kolon. Rundschau XXV, 1933.
77. Troll, C.: Schmelzung und Verdunstung von Eis und Schnee in ihrem Verhältnis zur geographischen Verbreitung der Ablationsformen. Erdkunde, Bd. 3, 1949.
78. Vageler, P.: Grundriß der tropischen und subtropischen Bodenkunde. Berlin 1930.
79. Wagner, A.: Neue Theorie des Berg- und Talwindes. Met. Z. 1932.
80. Wagner, A.: Hangwind — Ausgleichsströmung — Berg- und Talwind. Met. Z. 1932.
81. Wagner, A.: Gibt es im Gebirge eine Höhenzone maximalen Niederschlags? Gerl. Beitr. z. Geophys. 1937.
82. Theorie und Beobachtung der periodischen Gebirgswinde. Gerl. Beitr. z. Geophys. 1938.
83. Wang, T.: Die Dauer der ariden, humiden und nivalen Zeiten des Jahres in China. Tübinger geogr. u. geol. Abh. Reihe 2, Heft 7, Öhringen 1941.
84. Wissmann, H. v.: Die Klima- und Vegetationsgebiete Eurasiens. Z. Ges. Erdk. Berlin 1939.
85. Wissmann, H. v.: Pflanzenklimatische Grenzen der warmen Tropen. Erdkunde. Bd. 2. 1948.
86. Wilhelmy, H.: Methoden der Verdunstungsmessung und der Bestimmung des Trockengrenzwertes am Beispiel der Südukraine. Pet. Mitt. 1944.

Afrika

87. Adamson, R. S.: The Vegetation of South Africa. London 1938.
88. Aubréville, A.: La flore forestière de la côte d'Ivoire. Paris 1936.
89. Aubréville, A.: Les forêts du Dahomey et du Togo. Paris 1937.
90. Aubréville, A.: La forêt coloniale. Paris 1938.
91. Aubréville, A.: Climats, forêts et desertification de l'Afrique tropicale. Paris 1949.
92. Bernard, A.: Le régime des pluies au Maroc. Mem. d. l. Soc. Sc. nat. du Maroc I Nr. 1, Rabat 1921.

93. Bernard, A., u. Roquevaire, R.: Atlas d'Algerie et de Tunisie, 1933.
94. Bews, J. W.: The Vegetation of Natal. *Annals of the Natal Museum*, Vol. II, Part 3, May 1912.
95. Bobzin, E.: Vergleichende Betrachtung des Klimas und der kalten Auftriebströmungen an der südwestafrikanischen und südarabischen Küste. Diss. Hamburg 1921.
96. Breuel, M.: Savanne und Urwald in Kamerun und ihre geogr. Wirkungen als Landschaften. *Pet. Mitt.* 1943.
97. Brooks, C. E. P.: The Rainfall of Nigeria and the Gold Coast. *Quart. J. of the Roy. Met. Soc.* Bd. 42, London 1916.
98. Brooks, C. E. P.: Meteorology of British East-Africa. *Quart. J. of the Roy. Met. Soc.* 1913.
99. Brooks, C. E. P.: Rainfall of Nyasaland. *Quart. J. of the Roy. Met. Soc.* 1919 (Jahreskarte).
100. Brooks, C. E. P.: The Distribution of Rainfall over Uganda with an Note on Kenya Colony. *Quart. J. of the Roy. Met. Soc.* 1924.
101. Broun, A. F.: Einleitung zu Crowfoot, Grace, M.: Flowering Plants of the Northern and Central Sudan. Leominster, o. J. (1928).
102. Burt-Davy, J.: The Classification of Tropical Woody Vegetation types. Oxford 1938.
103. Busse, W.: Die periodischen Grasbrände im tropischen Afrika, ihr Einfluss auf die Vegetation und ihre Bedeutung für die Landeskultur. *Mitt. dt. Schutzgeb.* 1908.
104. Chamney, N. P.: Climatology of the Gold Coast. *Dep. of Agricult. Bull.* Nr. 15, Accra 1928.
105. Chevalier, A.: Essai d'une carte botanique forestière et pastorale de l'Afrique Occidentale Française. C. R. 1911.
106. Chevalier, A.: La territoire géobotanique de l'Afrique tropical nord, occidentale et ses subdivisions. *Bull. Soc. Bot. France* 1933.
107. Chevalier, A.: La végétation à Madagascar. *Ann. de Geogr.* 1922.
108. Chipp, T. F.: Forests and Plants of the Anglo Egyptian Sudan. *Geogr. J.* 1930.
109. Chipp, T. F.: The Vegetation of the Central Sahara. *Geogr. J.* 1930.
110. Chipp, T. F.: The Gold Coast Forest. 1927.
111. Chudeau, R.: Le climate d'Afrique occidentale et équatoriale. *Ann. de Geogr.* 1916.
112. Climatological Normals for Cyprus, Egypt and the Sudan. Cairo Ministry of Public Works, Physical Dep. 1922 und 1938.
113. Conrad, V.: Zum Klima von Tripolitanien. (Ref. über mehrere Veröffentlichungen von F. Eredia in L'Agricoltura coloniale.) *Met. Z.* 1923.
114. Craig, J. I.: Rains of the Nile Basin and the Nile Flood of 1909 (Monats- und Jahresregenkarten). Cairo, *Scientific Journ.* 1909.
115. Craig, J. I.: England, Abyssinia, the South Atlantic a Meteorological Triangle. *Quart. J. Roy. Met. Soc.* 1910.
116. Defant, A.: Das Kaltwasserauftriebsgebiet vor der Küste von Südwestafrika. *Länderkundl. Forsch. Festschr. f. N. Krebs.* 1936.
117. Deutsche Seewarte: Segelhandbuch für das Rote Meer und den Golf von Aden.
118. Dörner, Th.: Eine potamologische Karte von Afrika. *Ber. d. Naturf. Ges. zu Freiburg (Br.)*, 1925.
119. Eckardt, W. R.: Über die Ursachen der jahreszeitlichen Regenfälle in den westlichen Mittelmeerländern. *Ann. d. Hydr.* 1916.
120. Eckardt, W. R.: Über die Ursachen der jahreszeitlichen Regenfälle in Afrika mit besonderer Berücksichtigung der Küstengebiete. *Ann. d. Hydr.* 1917.
121. Edwards, D. C.: A Vegetation Map of Kenya. *Journ. of Ecology*, Vol. 28, 1940.
122. Ekhart, H.: Eine neue Regenkarte der Erde. *Pet. Mitt.* 1930.

123. Emb erger, L., u. Roux, G.: Une nouvelle carte des pluies en Maroc. La Météorologie. 1933.
124. Emb erger, L.: Aperçu général sur la végétation du Maroc. Commentaire de la carte phytogéographique du Maroc 1 : 1500000. Veröff. d. Geobot. Inst. Rübel in Zürich, Heft 14, 1939.
125. Engler, A.: Die Pflanzenwelt Afrikas, besonders seiner tropischen Gebiete. In: Die Vegetation der Erde, Abt. 9. 1910—25.
126. Eredia, F.: Climatologia di Tripoli e Bengasi. Rom 1912.
127. Eredia, F.: Le precipitazioni aquee nell' Eritrea dal 1923 al 1931. Roma 1932.
128. Eredia, F.: Le precipitazioni aquee nella Somalia Italiana. Roma 1926.
129. Evans, J. B.: A Vegetation Map of South Africa. Bot. Surv. South Afr. Mem. 15. 1936.
130. Falkner, F. R.: Beiträge zur Agrargeographie der afrikanischen Trockengebiete. Geogr. Abh. 3. Reihe, Heft 11. Stuttgart 1939.
131. Falkner, F. R.: Die Trockengrenze des Regenfeldbaus in Afrika. Pet. Mitt. 1938.
132. Fantoli, A.: Tavole di climatologia libica. R. Ufficio Agrario. Sezione Met. 1923.
133. Fantoli, A.: Elementi preliminari del clima dell' Etiopia. Firenze 1940.
134. Fantoli, A.: Libia occidentale, Carta pluviometrica ed. Min. dell' Africa Italiana Nr. 741, 1939.
135. Fantoli, A.: Libia Orientale, Carta pluviometrica. ed. Min. dell' Africa Italiana. Nr. 742, 1939.
136. Fantoli, A.: Africa Orientale Italiana, Carta pluviometrica. ed. Min. dell' Africa Italiana, Nr. 740, 1939.
137. Fischer, Th.: Studien über das Klima der Mittelmeerländer. Pet. Mitt. Erg. H. 1879.
138. Fischer, Th.: Das Klima von Marokko. Z. Ges. Erdk. Berlin 1900.
139. Fitzner, R.: Die Regenverteilung in den deutschen Kolonien. Berlin 1907.
140. Franke, A.: La forêt coloniale; Ref. über: Aubréville, La forêt coloniale. Paris 1938. Kolonialforstl. Mitt. Bd. 1, 1939.
141. Franke, A.: Zur Gliederung der forstlich wichtigen Vegetationsformationen. Kolonialforstl. Mitt. Bd. V. 1942.
142. Franz, A.: Beiträge zur Ozeanographie und Klimatologie der deutsch-südwestafrikanischen Küste nach Beobachtungen von S.M.S. Möve. Arch. d. dt. Seewarte 38, Heft 1, 1920.
143. Frauenberger, G.: Studien über die jährlichen Niederschläge des afrikanischen Kontinents (mit Karte). Pet. Mitt. und Diss. 1906.
144. Frey, G.: Der Nyassasee und das deutsche Nyassaland. Mitt. a. d. dt. Schutzgebieten. Erg. H. 10, Berlin 1914.
145. Gillman, C.: Dauerflüsse auf der Lundaschwelle. Z. Ges. Erdk. Berlin 1939.
146. Gillman, C.: A Vegetation-Types Map of Tanganyika-Territory. Geogr. Rev. 1949.
147. Ginestous, G.: Les régimes des pluies en Tunisie. 1927.
148. Goedert, P.: Le régime pluvial au Congo Belge. Gembloux 1938.
149. Grandidier, G.: Atlas des colonies françaises. 1934.
150. Guillemain, C.: Über Vegetationsformen in Katanga. Geogr. Z. 1914.
151. Hafemann, D.: Niederschlag, Regenfeldbau und künstliche Bewässerung in der südafrikanischen Union. Forsch. zur Kol.-frage. Bd. 12, 1943.
152. Heidke, P.: Meteorologische Beobachtungen aus Kamerun. (Monatsmittel von 40 Stationen bis 1912). Mitt. dt. Schgeb. 1914.
153. Heidke, P.: Die Niederschlagsverhältnisse von Deutsch-Südwest-Afrika (mit Karten und Niederschlagstabellen). Mitt. dt. Schgeb. 1919.
154. Heilgermann, E.: Beiträge zur Klimatologie von Togo. Arch. d. dt. Seewarte, Nr. 3, 1937.

155. Henckel, J. S.: Types of Vegetation in Southern Rhodesia. Proceedings of the Rhodesia Scientific Association, Vol. XXX, 1931.
156. Heske, F.: Überblick über die Waldverhältnisse Westafrikas. Kolonialforstl. Mitt. Bd. 1, 1938.
157. Höller, E.: Das Problem der Feucht- und Trockensteppen im Abiadbecken. Arch. dt. Seewarte, Nr. 4, 1936.
158. Hubert, H.: Nouvelles études sur la météorologie de l'Afrique Occidentale Française. Paris 1926.
159. Hurst, H. E., u. Phillips, P.: The Nile Basin, vol. I Min. of Publ. works Cairo 1931.
160. Jaeger, F.: Afrika. Leipzig 1928.
161. Jaeger, F.: Die Gewässer Afrikas. Jubiläums-Sonderband der Z. Ges. Erdk. Berlin 1928.
162. Jaeger, F.: Probleme der klimatischen Grenzen in Afrika. Z. Ges. Erdk. Berlin 1929.
163. Jaeger, F.: Trockengrenzen in Algerien. Pet. Mitt. Erg. H. 223, 1936.
164. Jaeger, F.: Die Gewässer Ostafrikas. Erdkunde, Bd. III, 1949.
165. Jessen, O.: Natur-, Raub- und Kulturlandschaft in Angola. Z. Ges. Erdk. Berlin 1933.
166. Jessen, O.: Reisen und Forschungen in Angola. 1936.
167. Klute, F.: Allgemeine Länderkunde von Afrika. Hannover 1935.
168. Klute, F.: Ergebnisse und Forschungen am Kilimandscharo. Berlin 1920.
169. Knoch, K.: Die Niederschlagsverhältnisse der Atlasländer. Diss. Marburg 1906.
170. Knoch, K.: Zum Klima des Innern von Angola. Met. Z. 1926.
171. Knox, A.: The climate of the Continent of Africa. Cambridge 1911.
172. Koops, W.: Die Landschaftsgürtel des westlichen Sudan. Diss. Hamburg 1935.
173. Krugler, H.: Die Windverhältnisse im östlichen Mittelmeer und seinen Randgebieten. Diss. Berlin 1912.
174. Lebrun, J.: Répartition de la forêt équatoriale et des formations végétales limitrophes. Brüssel 1936.
175. Lebrun, J.: La forêt équatoriale congolaise. Bull. Agric. du Congo Belge. vol. XXVII, 1936.
176. Loewe, F.: Die Niederschlagsverhältnisse von Madagaskar. Met. Z. 1926.
177. Loewe, F.: Die geographische Verteilung der Niederschläge in Afrika. Diss. Berlin 1926.
178. Lyons, H. G.: The Physiography of the River Nile and its Basin. Cairo 1906.
179. Lyons, H. G., u. Craig, J. I.: The Rains of the Nile Basin and the Nile Flood of Egypt Finance. Min. Surv. Dep. 1911.
180. Marquardsen, H.: Angola. 1920. 2. Aufl. 1928 v. A. Stahl.
181. Maurer, H.: Zur Klimatologie von Deutsch-Ostafrika. Hamburg 1901.
182. Maurer, H.: Die Regenveränderlichkeit in Deutsch-Ostafrika. Ann. d. Hydr. 1938.
183. Meyer, H.: Das deutsche Kolonialreich. 2 Bde. 1909/10.
184. Michel, E., u. Vandenplas, A.: Carte des stations météorologiques et des hauteurs normales des pluies au Congo Belge, exprimées en millimètres pour la Période 1930—39. Bull. Agr. du Congo Belge, vol. XXXIII, 1942.
185. Mildbraed, J.: Ein botanischer Ausflug in das Grasland des Kamerungebirges. Koloniale Rundschau 1933.
186. Mildbraed, J.: Der zentralafrikanische Regenwald. Koloniale Rundschau 1937.
187. Mildbraed, J.: Über den Tropenwald Westafrikas. Kolonialforstl. Mitt. 1938.
188. Moisel, M.: Die Grenzen des zentral- und westafrikanischen Urwaldes. Mitt. dt. Schutzgeb. 1917.

189. Müller, R.: Regenverteilung, Pflanzendecke und Besiedlung Oberguineas und des westlichen Sudan. Diss. Leipzig 1910.
190. Niehoff, K.: Oberflächengestaltung, Niederschlag und Abfluß des Niger und seiner Nachbargebiete. Mitt. dt. Schutzgeb. 1917.
191. Paap, W.: Die Niederschlagsverhältnisse des Schutzgebietes Deutsch-Ostafrika. Arch. d. dt. Seewarte 1934.
192. Passarge, S.: Die Kalahari. Berlin 1904.
193. Passarge, S.: Die natürlichen Landschaften Afrikas. Pet. Mitt. 1908.
194. Perret, R.: Le climat du Sahara. Ann. de Geogr. 1935.
195. Perrier de la Bathie, M. H.: La végétation malgache. Ann. du Musée colonial de Marseille, 1921.
196. Perrier de la Bathie, M. H.: Le Tsaratanana, l'Ancaratra et l'Andringitra. Mem. de l'acad. malgache. Fasc. III, 1927.
197. Pfalz, R.: Die Regenverteilung in Belgisch-Kongo. Pet. Mitt. 1943.
198. Phillips, J. F. V.: Fire: Its Influence on Biotic Communities and Physical Factors in South Africa. South Afr. Journ. of Science, vol. XXVII, 1930.
199. Pietsch, W.: Das Abflußgebiet des Nil. Diss. Berlin 1910.
200. Rainfall Normals up to the end of 1925. Kapstadt 1927.
201. Rainfall Normals up to the end of 1935. Pretoria 1939.
202. Ratjens, K.: Beiträge zur Landeskunde von Abessinien. Mitt. Geogr. Ges. München 1911.
203. Robertson, C. L., u. Sellick, N. P.: The climate of Rhodesia, Nyassaland and Mocambique Colony. In: Köppen/Geiger, Handbuch der Klimatologie, Bd. V, Teil X, Berlin 1933.
204. Robequain, Ch.: La végétation du Sénégal. Ann. de Geogr. 1942.
205. Sala, G.: Il clima dell' Etiopia e confronti col clima dell' Eritrea a della Somalia. Bergamo 1938.
206. Scaetta, H.: Le climat et la végétation de la dorsale Congo-Nil (région du lac Kivu). Ann. de Geogr. 1935.
207. Schmidt, H.: Der jährliche Gang der Niederschläge in Afrika. Arch. d. dt. Seewarte, Bd. 46. Hamburg 1928.
208. Schottenloher, R.: Ergebnisse wissenschaftlicher Reisen in Äthiopien. Pet. Mitt. 1939.
209. Schumann, T.: Temperature. Met. Office, Dep of Irrigation. Pretoria 1942.
210. Schwarz, E. H. L.: Kalahari or Thirstland Redemption. Kapstadt 1918.
211. Schweinfurth, G.: Pflanzengeographische Skizze des gesamten Nilgebietes. Pet. Mitt. 1868.
212. Semmelhack, W.: Die Verteilung der Niederschläge im Gebiet um das Kamerungebirge. Mitt. d. Gr. dt. kolonialwirtschaftlicher Unternehmungen, Berlin 1940.
213. Shantz, H. L., u. Marbut, C. F.: The Vegetation and Soils of Africa. Am. Geogr. Soc. Res. Ser. Nr. 13, New York 1923.
214. Sieglerschmidt, R.: Das Klima der Niederguineaküste. Mitt. dt. Schutzgeb. 1910.
215. Thompson, H. N.: Gold Coast, Report on Forests. Col. Rep. 1910.
216. Thorbecke, F.: Das tropische West- und Mittelfrika. Geogr. Z. 1915.
217. Thorbecke, F.: Natur- und Kulturräume im Kameruner Hochland. Festschr. f. C. Uhlig. Öhringen 1932.
218. Troll, C.: Studien an Vegetations- und Landschaftsprofilen afrikanischer Gebirge. Nova Acta Leopoldina, N. F. Bd. 17, Halle 1935.
219. Troll, C.: Koloniale Raumplanung in Afrika. Z. Ges. Erdk. Berlin 1941.
220. Troll, C.: Wüstensteppen und Nebeloasen im süd nubischen Küstengebirge. Z. Ges. Erdk. Berlin 1938.
221. Troll, C., u. Schottenloher, R.: Ergebnisse wissenschaftlicher Reisen in Äthiopien. Pet. Mitt. 1939.
222. Vandenplas, A.: La pluie au Congo Belge. Inst. Roy. Met. de Belgique 1943.

223. Vandenplas, A.: La température au Congo Belge. Inst. Roy. Met. de Belgique, 1947.
224. Waibel, L.: Die periodisch trockenen Vegetationsgebiete des tropischen Afrika. Verh. d. 20. dt. Geogr. Tages zu Leipzig. 1922.
225. Waibel, L.: Die Rohstoffgebiete des tropischen Afrika. Leipzig 1937.
226. Walter, H.: Grasland, Savanne und Busch in den ariden Teilen Afrikas in ihrer ökologischen Bedingtheit. Jb. f. wiss. Bot. 1939.
227. Warburg, O., u. Baum, H.: Kunene — Sambesi — Expedition 1903, Berlin 1903.
228. Wirtschaftskarte von Mittel- und Südafrika, ed. vom kol. pol. Amt 1942. 1) Klimakarte A, 2) Klimakarte B, 3) Landbaukarte A mit farbigem Vegetationsuntergrund nach E. Mai, 4) Waldkarte.
229. Wittschell, L.: Klima und Landschaft in Tripolitanien. Hamburg 1928.

Südamerika

230. Berninger, O.: Wald und offenes Land in Südchile. Geogr. Abh. 3, Reihe Heft I, 1929.
231. Beschoren, M.: Das Waldgebiet des oberen Uruguay. Z. Ges. Erdk. Berlin 1880.
232. Bowman, I.: The Andes of Southern Peru. New York 1916.
233. Carvalho, W. J.: Atlas pluviométrico do Brasil (1914—1938). Boletim Nr. 5, Rio de Janeiro 1938.
234. Chavanne, J.: Die Temperatur und Regenverhältnisse Argentinien. Veröff. d. dt. akad. Vereinigung zu Buenos Aires, Bd. 1, Heft 7, Buenos Aires 1903.
235. Chodat, R.: La végétation du Paraguay. Genf 1916.
236. Cleef, E. van: Rainfall Maps of Latin America. Monthly Weather, Rev. 1921.
237. Davis, W. G.: Climats of the Argentine Republic. Buenos Aires 1910.
238. Delgado de Carvalho, C. M.: Atlas pluviométrico do Nordeste do Brasil.
239. Delgado de Carvalho, C. M.: Dados pluviométricos relativos do Nordeste do Brasil, período 1912—20, Rio de Janeiro 1922.
240. Delgado de Carvalho, C. M.: Météorologie du Brésil. London 1917.
241. Denis, P.: Amérique du Sud. In: Vidal de la Blache et Gallois, Géographie universelle. Paris 1928.
242. Diels, L.: Beiträge zur Kenntnis der Vegetation und Flora von Ecuador. Biblioth. Bot. Bd. 16, Stuttgart 1937.
243. Donat, A.: Zur regionalen Gliederung der Vegetation Patagoniens. Ber. d. dt. Bot. Ges. 1932.
244. Eckardt, W. R.: Meteorologische und klimatologische Probleme Südamerikas. Met. Z. 1923.
245. Emmel, O.: Die Verteilung der Jahreszeiten im tropischen Südamerika. Diss. Gießen 1911.
246. Fiebrig, K.: Ein Beitrag zur Pflanzengeographie Boliviens. Engl. Bot. Jb. 1911.
247. Franze, B.: Die Niederschlagsverhältnisse in Südamerika. Pet. Mitt. Erg. H. 193, 1927.
248. Franze, B.: Karte des Temperaturverlaufs in Südamerika. Pet. Mitt. 1929.
249. Freise, F.: Die Waldverhältnisse im Dürregebiet des Nordostens von Brasilien. Z. f. Weltforstwirtschaft 1937.
250. Gassner, G.: Die Vegetation von Uruguay. In: Vegetationsbilder von Karsten und Schenk, H. 1/2, 3/4, 1913.
251. Gassner, G.: Klima und Vegetation. In: W. Nelke, Das Deutschtum in Uruguay. Schr. d. dt. Auslandsinst. Stuttgart. 1921.
252. Giese, J.: Die Niederschlagsverhältnisse Argentinien. Diss. Münster 1934.
253. Gonzales, E.: Climatología de Venezuela. Caracas 1941.
254. Haumann, L.: La Végétation des Hautes Cordillères. 1918.

255. Hennig, R.: Ursachen und Wirkungen der klimatischen Gegensätze zwischen der atlantischen und pazifischen Seite Südamerikas. Diss. Bonn 1910.
256. Herzog, Th.: Die Pflanzenwelt der bolivianischen Anden und ihres östlichen Vorlandes. In: Veg. der Erde, von Engler u. Drude, Leipzig 1923.
257. Herzog, Th.: Pflanzenformationen Ostboliviens. Engl. Bot. Jb. 1910.
258. Hessling, N. A.: Ciclones y Anticiclones en la Republica Argentina. Boletim Mensual 1923.
259. Hettner, A.: Das südlichste Brasilien. Z. Ges. Erdk. Berlin 1891.
260. Hettner, A.: Das Klima von Chile und Westpatagonien, Diss. Straßburg 1891.
261. Hettner, A.: Die Cordillere von Bogotá. Gotha 1892.
262. Hettner, A.: Regenverteilung, Pflanzendecke und Besiedlung der tropischen Anden. Festschr. f. F. v. Richthofen z. 60. Geb.-tag. Berlin 1893.
263. Hoehne, F. C.: Phytophysionomia do estado de Mato Grosso. S. Paulo 1923.
264. Huber, M. J.: Sur les campos de l'Amazone inférieur et leur origine. Compt. Rendus Congr. Intern. Bot. à l'exposition Univ. de 1900, Paris.
265. Huber, M. J.: Zur Entstehungsgeschichte der brasilianischen Campos. Pet. Mitt. 1002.
266. Humboldt, A. v.: Ansichten der Natur. Tübingen 1808 u. 1832.
267. Jaeger, F.: Die Gewässer Südamerikas. Pet. Mitt. 1940.
268. Jefferson, M.: The Real Temperatures troughout North and South America. Geogr. Rev. 1918.
269. Jefferson, M.: Actual Temperatures of South America. Geogr. Rev. 1926.
270. Kanter, H.: Der Gran Chaco und seine Randgebiete. Hamb. Univ. Abh. aus dem Gebiet der Auslandskunde 1036.
271. Kanter, H.: Der nördliche Chaco und das Bergland von Chiquitos. Pet. Mitt. 1933.
272. Katzer, F.: Eine Forschungsreise nach der Insel Marajó. Globus 1898.
273. Katzer, F.: Zur Entstehung und Einteilung der brasilianischen Campos. Pet. Mitt. 1902 (vgl. auch: Lit. Bespr. Nr. 832 zu Huber 1900 [s. d.] Pet. Mitt. 1901).
274. Keidel, J.: Clima, desagüe y aguas subterranas en la Argentina. Tucumán 1944.
275. Kerner, F.: Zur Kenntnis des jährlichen Temperaturganges auf der Südhemisphäre, a) Südamerika. Met. Z. 1009.
276. Kerner, F.: Temperatur und Regenmessungen aus Peru. Met. Z. 1917.
277. Knoch, K.: Klimakunde von Südamerika. In: Köppen-Geiger: Handbuch der Klimatologie, Bd. II, Teil G, Berlin 1930.
278. Knoche, W.: Verteilung des Niederschlagsüberschusses bzw. -defizites in Chile. Met. Z. 1923.
279. Knoche, W.: Über die nördliche Waldgrenze in Chile. Z. Ges. Erdk. Berlin 1923.
280. Knoche, W.: Der Paraná als Scheide zwischen Urwald und Savanne. Z. Ges. Erdk. Berlin 1928.
281. Knoche, W.: Klimatologisches aus Brasilien und Paraguay. Met. Z. 1028.
282. Knoche, W.: Jahres-, Juli- und Januar-Niederschlagskarte der Republik Chile. Z. Ges. Erdk. Berlin 1929.
283. Knoche, W.: Chile. In: Klute, Handb. d. Geogr. Wiss., Bd. Südamerika, 1930.
284. Knoche, W.: Nebel und Garúa in Chile. Z. Ges. Erdk. Berlin 1931.
285. Knoche, W.: Klimatische Beobachtungen auf einer Reise in Ecuador. Verh. d. dt. wiss. Vereins zu Santiago, Bd. 2, 1932.
286. Koegel, L.: Das Urwaldphänomen Amazoniens. Eine geographische Studie. Diss. München 1914.
287. Koegel, L.: Zur Frage der Urwaldentwicklung in Amazonien. Geogr. Z. 1022.
288. Koegel, L.: Die Urwaldgebiete Amazoniens. Pet. Mitt. 1914.
289. Krieg, H.: Urwald und Camp. Stuttgart 1925.

290. K r i e g, H.: Von den Anden Boliviens bis zum Atlantik. Z. Ges. Erdk. Berlin 1939.
291. K ü h n, F.: Argentinien. 2 Bde. 1927.
292. K ü h n, F.: Der Steppencharakter der argentinischen Pampa. Pet. Mitt. 1929.
293. L i n d m a n n, C. A. M.: Vegetationen i Rio Grand do Sul. Stockholm 1900.
294. L u e t z e l b u r g, Ph.: Estudo botanico do Nordeste. Rio de Jan. 1923.
295. L u e t z e l b u r g, Ph.: Mappos botanicas Nordeste do Brasil. 1922.
296. M a a c k, R.: Urwald und Savanne im Landschaftsbild des Staates Paraná. Z. Ges. Erdk. Berlin 1931.
297. M a a c k, R.: Notas preliminares sôbre clima, solos e vegetação do Estado do Paraná. Curitiba 1948.
298. M ä d j e, W.: Uruguay. Veröff. d. Inst. f. Meeresk. Berlin. N. F. Hist. volksw. Reihe, April 1941.
299. M a r t i u s, C. E. P.: v. Spix, J. B. u. Martius, C. E. P. Reise in Brasilien in den Jahren 1817—20. München 1827. (Klassische Schilderung der Campos und Caatinga).
300. M a r t o n n e, E. de: Problèmes des régions arides américaines. Ann. de Géogr. 1935.
301. M a r t o n n e, E. de: La zone aride de l'Amérique de Süd. Bull. Soc. Roy. Belge 1936.
302. M a u l l, O.: Brasilien. In: Klute, Handbuch der Geogr. Wiss. Bd. Südamerika 1930.
303. M e y e r, H.: In den Hochanden von Ecuador. Berlin 1907.
304. M ü l l e r, A.: Die venezolanischen Llanos. Diss. Hamburg 1934.
305. M u r p h y, R. C.: The Litoral of Pacific, Colombia and Ecuador. Geogr. Rev. 1939.
306. M u r p h y, R. C.: Oceanic and Climatic Phenomena along the Westcoast of South America during 1925. Geogr. Rev. 1926.
307. M y e r s, J. G.: Notes of the Vegetation of the Venezuelan Llanos. Journ. of Ecology 1933.
308. N o r d e n s k j ö l d, E. v.: Die Anpassung der Indianer an die Verhältnisse in den Überschwemmungsgebieten in Südamerika. Ymer 1936.
309. P a s s a r g e, S.: Der Landschaftsaufbau der Anden von Columbien bis Nordargentinien / Nordchile. Geogr. Z. 1935.
310. P i t t i e r, H.: Esbozo de las formaciones vegetales de Venezuela. Caracas 1920.
311. Q u e l l e, O.: Neue Beiträge zur Kenntnis des Klimas von Brasilien. Met. Z. 1924.
312. R a w i t s c h e r, F.: The Utility of Precipitation Effectiveness Formulas for Plant Ecology. Geogr. Rev. 1947.
313. R a w i t s c h e r, F.: The Water Economy of the Vegetation of the Campos Cerrados in Southern Brasil. Journ. of Ecol. 1948.
314. R e e d, W. G.: South American Rainfall Types. Quart. Journ. Met. Soc. 1910.
315. R e i c h e, K.: Grundzüge der Pflanzenverbreitung in Chile. Leipzig 1907.
316. R ü h l e, K.: Die Vegetationsformen Südamerikas in ihrer klimatischen Bedeutung. Pet. Mitt. 1928.
317. S a m p a i o F e r r a z, J. de: Boletim de Normaes. Campos 1922.
318. S a m p a i o F e r r a z, J. de: Causas provaveis das seccas do Nordeste brasileiro. Rio de Jan. 1925.
319. S a m p a i o F e r r a z, J. de: Meteorologia brasileira. Sao Paulo 1945.
320. S c h m i d t, R. D.: Die Niederschlagsverteilung im andinen Columbien. Diss. Bonn (1944) (Maschinenschrift). Bonner Geogr. Abh., H. 0, 1952.
321. S c h m i e d e r, O.: The Pampa, a Natural or Culturally Induced Grasland? Publ. in Geogr., Bd. II, Berkeley/Calif. 1927.
322. S c h m i e d e r, O.: Die Entwicklung der Pampa als Kulturlandschaft. Verh. u. wiss. Abh. d. 22. dt. Geogr. Tages in Karlsruhe. Breslau 1928.
323. S c h m i e d e r, O.: Das Pampaproblem. Pet. Mitt. 1929.

324. Schmi ed er, O.: Länderkunde Südamerikas. Leipzig/Wien 1932.
325. Schmi ed er, O., u. Wilhelmy, H.: Deutsche Ackerbausiedlungen im südamerikanischen Grasland, Pampa und Gran Chaco. Deutsches Mus. f. Länderkunde, wiss. Veröff. N. F. 6. Leipzig 1938.
326. Schott, G.: Kaltes Wasser vor der Küste von Venezuela und Columbien. Ann. d. Hydr. 1931.
327. Schott, G.: Der Perustrom und seine nördlichen Nachbargebiete in normaler und anormaler Ausbildung. Ann. d. Hydrogr. 1931.
328. Schröder, R.: Temperaturkarte von Kolumbien. Bonner Geogr., Abh. H. 9, 1952.
329. Sievers, W.: Karten zur physikalischen Geographie von Venezuela. Pet. Mitt. 1896.
330. Sifontes, E.: La pluie au Vénézuéla. La Météorologie 1928.
331. Sorge, E.: Die Trockengrenze Südamerikas. Z. Ges. Erdk. Berlin. Erg., Bd. 3, 1930, u. Diss. Berlin 1930.
332. Stoltenberg, I.: Landschaftskundliche Gliederung von Paraguay. Diss. Hamburg 1927.
333. Tessmann, G.: Paraná, Pflanzenformationen, Klima, Wirtschaftsformen. Passat, Illustr. Monatszeitschr. d. trop. Welt. Heft 2, 1949.
334. Toledo, P. de: Mattas e Campos no Brasil. Rio de Jan. 1911.
335. Treumer, H.: Regendecke, Pflanzenverteilung und Besiedlung des Berglandes von Guayana. Geogr. Z. 1923.
336. Troll, C.: Die zentralen Anden. Z. Ges. Erdk. Berlin 1928, Jubil. Bd.
337. Troll, C.: Reise in den östlichen Anden Boliviens. Pet. Mitt. 1929 (mit zwei Vegetationskärtchen).
338. Troll, C.: Dié tropischen Andenländer. In: Klute, Handbuch der Geogr. Wiss. Bd. Südamerika. 1930.
339. Troll, C.: Die geographischen Grundlagen der Andenkulturen und des Inkareiches. Iberoam. Arch. 1931.
340. Troll, C.: Die Landschaftsgürtel der tropischen Anden. Verh. u. wiss. Abh. d. 24. dt. Geographentages zu Danzig 1931. 1932.
341. Troll, C.: Landschaftstypen Südamerikas (Karte). Meyers Gr. Handatlas, 1933.
342. Troll, C.: Die Stellung der Indianerhochkulturen im Landschaftsaufbau der tropischen Anden (mit Vegetationsprofilen und Karte der Landschaftsgürtel). Z. Ges. Erdk. Berlin 1943.
343. Troll, C.: Die ecuatorianisch-kolumbianische Pazifikküste von Tumbez bis Buenaventura mit Ausblick auf die ganze Küste von Lima bis Panama. (Manuskript des Verfassers.)
344. Ule, E.: Die Pflanzenformation des Amazonenbeckens. Pet. Mitt. 1907/08.
345. Vahl, M.: Vegetationskort over Sydamerika. Geogr. Tjidskrift 25, 1920.
346. Voss, E. L.: Beiträge zur Klimatologie der südlichen Staaten von Brasilien. Pet. Mitt. Erg. H. 145, 1904.
347. Voss, E. L.: Die Niederschlagsverhältnisse in Südamerika. Pet. Mitt. Erg. H. 157, 1907.
348. Waibel, L.: A vegetação e o uso da terra no Planalto central. Rev. brasileira da Geogr. Nr. 3. 1948. Paralleldarstellung in englischer Sprache: Vegetation and Land use in the Planalto Central of Brazil. (Geogr. Rev. 1948).
349. Walker, G. T.: Ceará, Brasil Famines and the General Air Movement. Beitr. z. Phys. d. freien Atmosph. 1928.
350. Weberbauer, A.: Grundzüge von Klima und Pflanzenverbreitung in den peruanischen Anden. Leipzig 1911.
351. Weberbauer, A.: Die Pflanzenwelt d. peruanischen Anden. Leipz. 1911.
352. Weberbauer, A.: Vegetationskarte der peruanischen Anden. Tafel 13. Pet. Mitt. 1922.
353. Wegener, K.: An der Südgrenze des peruanischen Waldes. Pet. Mitt. 1927.
354. Zorell, F.: Der „El Nino-Strom“ im Jahre 1925, Ann. d. Hydrogr. 1928.

Quellenverzeichnis.

Afrika

- a) **Französisch-Nordafrika: Marokko, Algier und Tunis.**
Memoirs de la Société des Sciences Naturelles du Maroc 1932/33.
Annales du Service Physique du Globe et de Météorologie de l'Institut Scientifique Chérifien 1934/35.
Annales du Bureau Central Météorologique de France, Paris (Veröffentlichungen der einzelnen Jahre).
Veröffentlichungen des: l'Institut de Météorologie et de Physique du Globe d'Algérie von 1931-38.
Weiteres Material in 92, 123, 138, 169, 194 des Lit.-Verz.
- b) **Libyen:**
Sommario della osservazioni meteorologiche e pluviometriche effettuate nel 1937 dal R. Ufficio Meteorologico in Africa Occ. Italiana. Tripolis.
Servicio Meteorologico del Africa Italiana: Sommario della osservazioni meteorologiche e pluviometriche. ed. A. Fantoli, Roma 1938.
Weiteres Material in 113, 126, 132, 229 des Lit.-Verz.
- c) **Ägypten und Anglo-Ägyptischer Sudan:**
Vgl. Lit.-Verz. 112 u. 159.
- d) **Französisch-Westafrika und Äquatorialafrika:**
Annales du Bureau Centrale Météorologique de France, Paris (Veröffentlichungen der einzelnen Jahre).
Service Météorologique: Bulletin du Service Météorologique de l'Africa Occ. Franc. Bd. 4—6, Dakar 1936/38.
- e) **Übriges Westafrika:**
Anais meteorologicas das colonias relativos a 1940. Lisboa 1941 (für die portug. Kolonien).
Meteorological Office, London 1909—1936 (für die engl. Kol.).
Mitteilungen aus den deutschen Schutzgebieten (verschied. Jahrgänge).
Deutsche Überseeische Meteorologische Beobachtungen (für die einzelnen Jahre). Zusammenfassende Ergebnisse in H. 23, 1922.
Originalmaterial der Deutschen Seewarte (für verschiedene Jahre).
Service Météorologique de Caméron 1937—39.
Weiteres Material für d) u. e) in 97, 104, 154, 172, 189, 190, 212, 214 des Lit.-Verz.
- f) **Nordostafrika: Abessinien, Eritrea und Somaliländer:**
Servizio Meteorologico del Africa Italiana: Sommario della osservazioni meteorologiche et pluviometriche, ed. A. Fantoli, Roma 1938.
Weiteres Material in 127, 128, 133, 205 des Lit.-Verz.
- g) **Ostafrika: Uganda, Kenia, Tanganjika:**
British East African Met. Serv., Nairobi 1934-39 u. 1947.
Meteorological Office, London 1914-34.
Mitteilungen aus den deutschen Schutzgebieten (mehrere Jahrg.).
Deutsche Überseeische Meteorologische Beobachtungen (für die einzelnen Jahre).
Originalmaterial der Deutschen Seewarte (neuere Reihen bis 1940).
Weiteres Material in 98, 100, 181, 182, 191 des Lit.-Verz.
- h) **Mittelafrika: Kongobecken:**
Bulletin Agricole au Congo Belge ed. Ministère des Colonies, Bruxelles (für die einzelnen Jahre).
Weiteres Material in 148, 184, 197, 222, 223 des Lit.-Verz.
- i) **Südwestafrika: Angola und SW-Afrika:**
Anais meteorologicos das colonias relativos 1931-40, Lisboa.
Mitteilungen aus den deutschen Schutzgebieten (für die einzelnen Jahre).

- Deutsche Überseeische Meteorologische Beobachtungen (für die einzelnen Jahre).
 Originalmaterial der Deutschen Seewarte.
 Weiteres Material in 153, 170, 180 des Lit.-Verz.
- k) Südostafrika: Njassaland, Nord-, Süd-Rhodesien und Mozambique:
 Meteorological Office: Met. Observ. at Col. and Foreign Stations, 1. Tropisches Afrika 1900-02, London 1904.
 Southern Rhodesia Meteorological Report by the Department Agriculture 1924-30, Salisbury 1931.
 South-Rhodesia Weather-Bureau, Monthly Bulletin (für 1932).
 Relatorio de observatorio meteorologico da Beira, Beira 1927.
 Originalmaterial der Deutschen Seewarte 1933-40.
 Summary of Rainfall in Northern Rhodesia 1931-36, ed. Brit. East-African Meteorological Service.
 Weiteres Material in 90, 203 des Lit.-Verz.
- l) Südafrika:
 Vgl. Lit.-Verz. 200, 201, 209.
- m) Madagaskar:
 Verwendung des in der Deutschen Seewarte gesammelten Beobachtungsmaterials (vorwiegend französische Quellen).
 Weiteres Material in 176 des Lit.-Verz.
 Für Gesamt-Afrika ist Beobachtungsmaterial enthalten in: 139, 171, 177, 183, 207 des Lit.-Verz.

Südamerika

Für Südamerika beschränkt sich das Quellenverzeichnis auf solche Tabellenwerke, die nach Abschluß der Klimakunde von Südamerika von K. K n o c h, 1930, erschienen oder dort nicht erwähnt sind und dem Verfasser zugänglich waren. Für die älteren klimatologischen Quellen sei auf das Lit.-Verz. in Knochs Klimakunde verwiesen.

- n) Venezuela:
 Vgl. Lit.-Verz. 253.
- o) Kolumbien:
 Anuario Meteorologico, Suplemento de la Revista "Agricultura", Bogotá 1934 u. 1937.
 Anuario Meteorologico Rep. de Colombia, ed. Ministerio de la Economia Nac. Departamento de Irrigacione 1944.
 Resumen de la estacion meteorologica de colegio de Christo. Manizales 1947.
 Anales del Observatorio Nacional en los andes colombianos, Bogotá (jährliche Veröff.).
 Weiteres Material in 320 des Lit.-Verz.
- p) Chile:
 Lluvias mensuales 1918-25 ed. Ministerio de Agricultura, Santiago de Chile 1926.
- q) Argentinien:
 El regimen pluviometrico de la Republica Argentina, Normales de Lluvia de 25 anos 1913-37, ed. Dir. de Nac. geofisica, meteorologica e hidrológica Rep. Argentina, Ser. F, Publ. No. 2, Buenos Aires 1943.
 Estadisticas climatologicas valores promedios y absolutos registrados en el periodo 1928-37, ed. Dir. de Nac. meteorologica, geofisica e hidrológica Rep. Argentina, Buenos Aires 1944.
 Weiteres Material in 252 des Lit.-Verz.
- r) Brasilien:
 Vgl. Lit.-Verz. 233, 239, 317, 319.

Für Gesamt-Südamerika ist Beobachtungsmaterial enthalten in 247, 248, 277 des Lit.-Verz.

Die Niederschlagsverteilung im andinen Kolumbien

Von

R. D. Schmidt

Mit 1 Abbildung und 1 Karte im Text, 5 Karten im Anhang und 1 Tabellenbeilage.

Die Niederschlagsverhältnisse in den Tropen sind in den letzten Jahrzehnten durch eine Reihe von regionalen Bearbeitungen behandelt worden, die meist von den örtlichen Wetterdienststellen durchgeführt wurden. Die besonders interessanten tropischen Gebirge waren das Thema von Sonderuntersuchungen, wie etwa der Kamerunberg durch *Semmelhack* u. a. Weniger erforscht sind bisher die andinen Länder Südamerikas, was vor allem auf den Mangel eines genügend dichten Beobachtungsnetzes zurückzuführen ist. Dies trifft vor allem auf Kolumbien zu, wo seit *Codazzi*¹⁾ und *Hettner*²⁾ alle Landeskundler gezwungen waren, die vorliegenden Messungen einiger weniger Stationen als Festpunkte einer Darstellung zu verwenden, die sich im wesentlichen auf allgemeine Beobachtungen der Vegetation und des Jahreszeitenverlaufes, soweit sich dieser dem Bewußtsein der einheimischen Bevölkerung einprägte, sowie auf eigene, naturgemäß meist kurzfristige Erfahrungen zu stützen. Seit etwa 1930 war der von den kolumbianischen Behörden erstrebte Ausbau eines meteorologischen Beobachtungsnetzes so weit gediehen, daß Messungen einer größeren Zahl über das Land verstreuter Stationen vorlagen. Dieses Material, soweit es in Deutschland während des Krieges zugänglich war (letztes Beobachtungsjahr 1937), erlaubte unter Mitverwendung von Vegetations- und Landschaftsschilderungen ein eingehenderes Bild dieses hochinteressanten Gebietes, das auf kleinem Raum sowohl die höchsten Niederschlagsmengen der Westhemisphäre als auch ausgesprochene Trokengengebiete aufweist, zu zeichnen. Von den in den Quellen genannten etwa 250 Stationen mit Regenmessungen schied eine beträchtliche Anzahl für die Bearbeitung aus, weil entweder die veröffentlichten Messungen für eine Bearbeitung zu bruchstückhaft waren oder die Lokalisierung der Station nicht möglich war. Für 123 Stationen konnte ein mittlerer Jahresgang errechnet werden, der sich für jeden Monat auf mindestens drei Summenwerte aus verschiedenen Jahren stützen konnte. Diese Stationen, für die im Anhang Tabellen der Niederschlagswerte für jeden Monat beigegeben sind, sind die wichtigste Grundlage für die folgenden Betrachtungen. In den Karten wurden darüber hinaus noch Beobachtungswerte einiger anderer Orte verarbeitet.

I. Allgemeine Übersicht

Von der ekuadorianischen Grenze im Süden an, unmittelbar nördlich des Äquators, teilt sich das gewaltige Gebirgssystem der Kordilleren in drei Stränge, welche gewissermaßen das Gerippe der landschaftlichen Gliederung Kolumbiens abgeben: die West-, Zentral- und Ostkordillere,

welche die langgestreckten Talbecken des Magdalena und Cauca zwischen sich einschließen. Das Gebiet zwischen Westkordillere und Pazifik ist ebenso wie das Gebiet östlich der Ostkordillere Tiefland, nur unmittelbar an der pazifischen Küste taucht streckenweise die auch in Peru und Ekuador erscheinende Küstenkordillere auf, die in der Serrania von Baudó mit etwa 1000—1500 m ihre höchste Erhebung findet. Während die Zentral- und Westkordillere nach Norden an Höhe verlieren und allmählich in ein flachwelliges Hügelland übergehen, teilt sich die Ostkordillere in etwa 7° n: Br. wiederum. Ihr östlicher Strang verläuft als Kordillere von Mérida nach Venezuela und schließt mit dem westlichen, der Sierra de Péríjá, das Becken von Maracaibo ein. Während die Sierra de Péríjá allmählich in den Hügeln der Halbinsel Goajira ausklingt, ragt unmittelbar am karibischen Meer, scheinbar isoliert und in noch nicht klar erkennbarer Zusammengehörigkeit zum andinen System, das gewaltige Massiv der Sierra Nevada de Santa Marta empor. Deutlich bestimmen die Bergketten die wichtigsten Landschaftsräume Westkolumbiens: Die Gebirgsländer mit den eingelagerten Hochebenen, die großen Längstäler, das pazifische Küstengebiet, das nordkolumbianische Tiefland und die östlichen Tiefländer. Diese Räume bestimmen auch die Klimaverhältnisse. Denn wären nicht die Kordilleren mit ihrer beträchtlichen Erhebung und ihrer Stau- und Schirmwirkung auf die Luftströmungen, das amazonische Urwaldklima würde sich einförmig bis an die Küste des Pazifik erstrecken.

Die vorliegende Untersuchung beschränkt sich im wesentlichen auf das andine Westkolumbien. Dies Gebiet liegt klimatisch zwischen zwei Windsystemen: Von Norden und Osten her dringt der Nordostpassat gegen das Gebirge vor und entsendet seine Ausläufer im Westen bis in das untere Atrato-Gebiet, im Südosten bis an die Ostkordillere. Hier beginnt das äquatoriale Kalmengebiet, dessen Lage, dem Sonnenstand entsprechend, jahreszeitlichen Schwankungen ausgesetzt ist. Während der Zeit des stärksten Passates wehen kräftige und stetige, durch ihre Herkunft von verhältnismäßig kühlen Meeren trockene Winde aus vorwiegend nordöstlichen Richtungen, die den Flachländern die Haupttrockenzeit des Jahres bringen, während der es nur ganz selten zu Regenfällen kommt. Nur dort, wo hohe Bergzüge sich dem Passat aufstauend entgegenstellen, kommt es an ihren Flanken zu Steigungsregen während des ganzen Jahres. Die Intensität dieser Regen kann allerdings, soweit es die vorliegenden Messungen erkennen lassen, lange nicht mit der an der pazifischen Küste beobachteten verglichen werden. Vom April an rückt mit wachsender Deklination der Sonne der Kalmengürtel nordwärts; in der damit anbrechenden windarmen Zeit kommt es zu Gewitterbildungen und ergiebigen Zenithalregen.

Der südlich der Kalmenzone wehende Südostpassat kommt in unserem Gebiet nicht mehr zur Geltung. Immerhin ist bei den südlichsten Stationen an der Ostseite der Kordilleren im Juli ein geringes Nachlassen der Niederschläge zu bemerken, das der durch Vorstöße des Südostpassats erzeugten Trockenzeit des südlichen Amazonasbeckens entspricht.

Ganz anders liegen die Verhältnisse auf der pazifischen Seite. In ihrem Nordteil herrschen während des größten Teil des Jahres nördliche Winde vor, die als Fortsetzung des Nordostpassats angesehen werden können. In den übrigen Monaten wehen vorwiegend südliche Winde, die nach Süden zu an Dauer zunehmen und endlich drei Viertel des Jahres beherrschen. Sie können wohl als Fortsetzung der südlichen Winde an der peruanischen

Küste gelten; sie als „umgebogener Südostpassat“ zu bezeichnen, ist nicht angängig, wie *Murphy*³⁾ darlegt, der sie als Küstenwinde, beeinflusst von den Bergen im Osten und der ozeanischen Antizyklone im Westen, erklärt. Beiderlei Winde wehen hier über ein sehr warmes Meer, wodurch die von ihnen bewegten Luftmassen eine hohe Feuchtigkeit aufnehmen. Beim Übertritt auf das Land, der vornehmlich des Nachts erfolgt, kommt es während des gesamten Jahres zu gewaltigen Niederschlägen, die in ganz Amerika nicht ihresgleichen finden.

Der genannte Umstand, daß die Temperatur des Meerwassers die mittlere Lufttemperatur des angrenzenden Landes übersteigt, ist am stärksten in der Mitte der kolumbianischen Pazifikküste ausgeprägt, wo auch die höchsten Regenmengen fallen. Weiter südlich treten kühlere Meeresströmungen, Ausläufer des Humboldtstromes, an die Küste heran, was zu einem starken Rückgang der Niederschläge im Gebiet von Tumaco führt und noch weiter südlich an der ekuadorianischen Küste zu einem dem karibischen analogen Trockenklima führt.

Die hohen Ketten der Kordilleren wirken als starke Barrieren auf die von außen gegen sie anströmenden Winde. Im Inneren des Gebirges kommen diese daher unmittelbar nicht zur Geltung, hier ist vielmehr ein täglicher Wechsel von Berg- und Talwinden zu beobachten. Doch wirken die hohen Komponenten der planetarischen Windsysteme steuernd auf das Klima auch der Gebirgslandschaften ein. Wenn auch der Mechanismus dieses Geschehens infolge mangelnder Beobachtungen noch nicht geklärt ist, so bietet doch vor allem der Gang der Niederschläge ein Beispiel für die Auswirkungen dieses Einflusses.

Die landesübliche klimatische Gliederung der Nordanden geht bekanntlich von der Temperatur aus und unterscheidet vier Höhenstufen, nämlich die *tierra caliente* oder heiße, *tierra templada* oder warme, *tierra fria* oder kalte Zone sowie den hochalpinen *Páramo*; ihre Übergänge liegen ungefähr bei 1000, 2000 und 3000 m Seehöhe. Die horizontalen Temperaturunterschiede sind wegen der geringen Breite unbedeutend, wie auch ein thermischer Jahresgang praktisch fehlt.

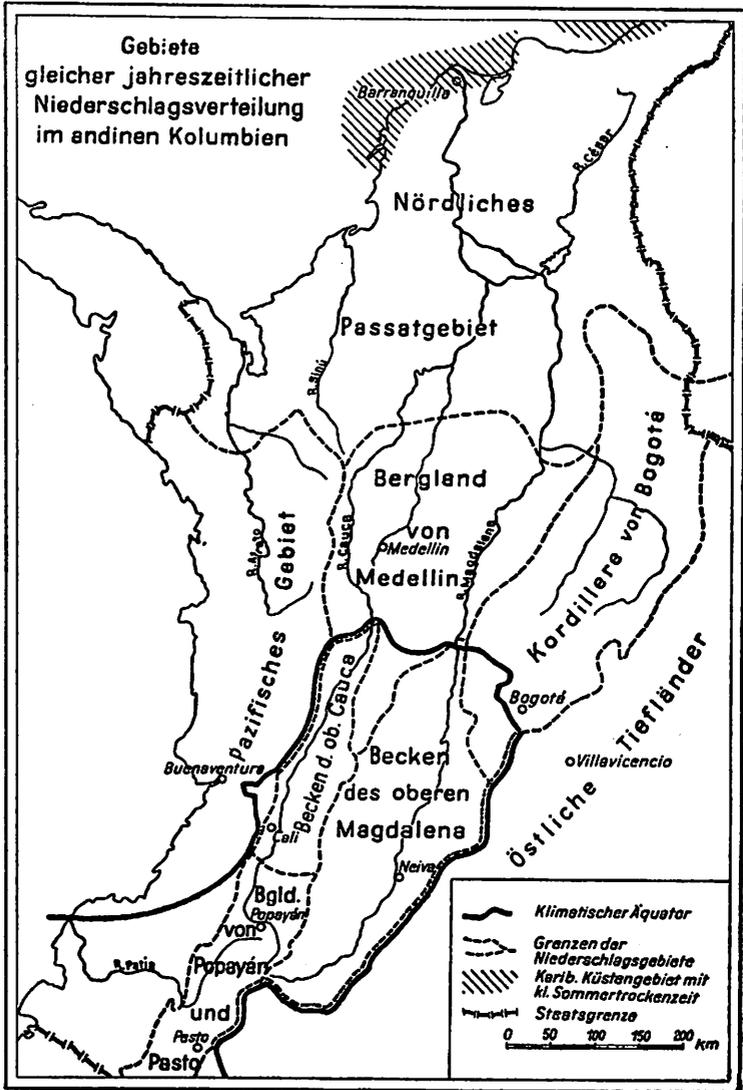
Die Niederschlagsverteilung, welche für die Landschaftsgestaltung von noch größerer Bedeutung ist, zeigt ein verwickeltes Bild. Eine Gliederung nach der mittleren Jahresregenmenge würde auf große Schwierigkeiten stoßen, da sich deren wechselvolle Verteilung (vgl. Karte 1) nicht in eine ähnlich einfache Relation zur Seehöhe bringen läßt wie die der Temperatur, weil Lage und Exposition einen maßgebenden und im Gebirge sehr stark wechselnden Einfluß ausüben.

Dagegen hat schon *Hettner*⁴⁾ eine Gliederung nach dem Jahresgange vorgeschlagen, wobei er drei Gebiete unterscheidet:

- I. Das Gebiet mit nordtropischem Charakter, ausgezeichnet durch eine Regenzeit, die sich dem Höchststande der Sonne anschließend vornehmlich über den Nordsommer und Nordherbst erstreckt und von einer stark ausgeprägten Trockenzeit im Nordwinter abgelöst wird.
- II. Das Gebiet äquatorialen Charakters, ausgezeichnet durch zwei Regenzeiten, entsprechend dem doppelten Zenithstand der Sonne, und zwei Trockenzeiten.

III. Das Gebiet s ü d t r o p i s c h e n Charakters, wo wiederum eine Regenzeit auftritt, die sich hier aber über den Nordwinter und -frühling erstreckt, so daß die darauf folgende Trockenzeit zeitlich mit der Sommerregenzeit des ersten Gebietes zusammenfällt.

Hettner zieht die Grenze zwischen den beiden ersten Gebieten vom Pazifik etwa entlang dem vierten Breitengrad bis zur Hauptkette der Ostkordillere, dann dieser entlang südwärts bis zum Quellgebiet des Rio Guaviare, dessen Verlauf sie dann folgt; das südtropische Gebiet III ragt nur mit einem kleinen Zipfel südwestlich Pasto nach Kolumbien herein.



Troll⁵⁾ führt den Begriff des „klimatischen Äquators“ ein als gedachte Linie, auf der sich die beiden Regenzeiten bzw. Trockenzeiten gerade die Waage halten. Nördlich dieses klimatischen Äquators, der naturgemäß als ein mehr oder minder breiter Grenzsäum zu denken ist, überwiegt die Trockenzeit des Nordwinters, während die zweite Trockenzeit nach Norden zu immer stärker zurücktritt, um sich in den nördlichsten Gebieten nur als kurzfristiger Rückgang der Niederschläge innerhalb der Regenzeit bemerkbar zu machen. Südlich des klimatischen Äquators, der sich, wie schon aus der Hettnerschen Einteilung zu erkennen war, in Kolumbien in bemerkenswerter Weise nach Norden vom astronomischen Äquator absetzt, ist eine Umkehrung dieser Verhältnisse zu beobachten. Hier tritt allmählich die südwinterliche Trockenzeit immer stärker in den Vordergrund, während die andere gleichzeitig den Charakter eines schwachen Nebenminimums annimmt.

Betrachtet man an Hand des neuen Materials den Jahresgang sowie auch Menge und Charakter des Niederschlags, so lassen sich acht Niederschlagsgebiete unterscheiden, die ungefähr den großen Naturräumen entsprechen und auf nebenstehender Skizze angegeben sind (Abb. 1). Soweit sie von Kordillerenketten begrenzt sind, werden deren Abhänge jeweils dem Gebiet zugerechnet, dem sie zugewandt sind. Die hochandine Region, aus der keine Messungen vorliegen, bleibt außerhalb der Betrachtung. Die nachstehende Schilderung folgt dieser Einteilung.

II. Das nördliche Passatgebiet

Das Gebiet zwischen dem karibischen Meer und dem Nordrand der Kordillere einschließlich der Sierra Nevada de Santa Marta und der Sierra de Périjá zeigt im Jahresgang der Niederschläge den Einfluß des Nordostpassats, der von Dezember bis April mit großer Stetigkeit und bedeutender Stärke weht. In den übrigen Monaten des Jahres zieht er sich auf das Karibische Meer zurück, wo er (nach Hettner nördlich 13° n.Br.) das ganze Jahr anhält. Die Zeit des Passats ist durch sehr ausgesprochene Trockenheit gekennzeichnet; vornehmlich die Monate Januar bis März sind so gut wie regenlos. Nur ganz selten kommt es zu dann allerdings wolkenbruchartigen Regenschauern. So fielen in Barranquilla 1913 an einem Märztag 83,5 mm Regen. Schultze⁶⁾ erwähnt für das Gebiet südlich Sta. Marta Wolkenbrüche im Januar.

In der passatlosen Zeit ist es meist windstill; mitunter treten schwache Winde aus südlichen Richtungen auf. In dieser Zeit kommt es häufiger zu Zenithalregen; Gewitter sind nicht selten, sie werden besonders an Erhebungen ausgelöst.

In Barranquilla sind die Monate Dezember bis März praktisch regenlos. Im April beginnen die Regen, die im Mai-Juni ihr erstes Maximum erreichen, um dann im Juni merklich nachzulassen. Dieser Rückgang stellt die Sommertrockenzeit dar, welche, da sie in die Nähe des Johannistages fällt, als „veranillo de San Juan“ bezeichnet wird. Im August setzt die Hauptregenzeit ein, die im Oktober ihren Höhepunkt findet. Bemerkenswerterweise ist die mittlere Ergiebigkeit eines Regentages während der ganzen Regenzeit ziemlich konstant und geht auch während der Sommertrockenzeit nur unbedeutend zurück; ihr Jahresmittel beträgt 15,3 mm. Der Jahresgang der Niederschlagsmenge stimmt daher fast genau mit dem der Zahl der Regentage im Monat überein.

Die Verhältnisse von Barranquilla sind kennzeichnend für den größten Teil des Küstengebietes von der Mündung des Rio Sinú bis an die venezolanische Grenze. Die verstärkte Trockenheit des Küstensaumes hängt vornehmlich mit der relativ niedrigen Temperatur des ihn umspülenden Meerwassers zusammen, wie es ähnlich auch an anderen Küsten der Fall ist⁷⁾. Erst weiter landeinwärts steigt die Jahressumme der Niederschläge wieder über 1000 mm; die Sommertrockenzeit tritt hier kaum in Erscheinung. Dementsprechend trägt die Küste eine ganz xerophile Vegetation von Kakteen, Mimosen und Dornbüschen. Landeinwärts erscheint Savanne mit kurzem Gras und spärlichem Buschwerk, die während der Trockenzeit gänzlich verdorren.

Ein ganz besonders trockenes Gebiet liegt südöstlich der Sierra Nevada de Santa Marta und reicht am Städtchen Calamar, unweit Jesus del Rio, bis an den Magdalena. Hier sinkt die Jahresregenmenge noch unter 500 mm; es ist neben dem Césartal die trockenste Gegend von ganz Kolumbien, was auch in der xerophilen Vegetation zum Ausdruck kommt.

Im Südwesten, bei Cereté, fällt weniger die Verkürzung der Trockenzeit auf — die Regen setzen schon im Laufe des April ein — als daß sie nicht mehr so völlig regenlos ist wie an der Nordküste. Auch hier tritt die Sommertrockenzeit nicht hervor. Im Westen bildet der Sinú die Grenze des Savannengebietes. Hinter ihm erheben sich die nördlichen Ausläufer der Westkordillere und wirken als Regenfänger für den Passat, so daß die Regenhöhe rasch ansteigt. Jenseits dieser Gebirgsketten kommen von Süden die feuchten pazifischen Luftmassen heran, die den Wirkungsbereich des Passats begrenzen. Turbo zeigt noch den charakteristischen passatischen Jahresgang. Südlich davon ist der Passat, teilweise zu einem Nordwestwind umgebogen, noch eine Strecke weit bis ins Atratotal zu verspüren. Von der Sinúmündung nach Turbo findet der Küste entlang allmählich ein Übergang von der Savanne über den laubwerfenden Trockenwald⁸⁾ zum Regenwald statt, entsprechend der Zunahme der Jahresregenmenge von etwa 1000 mm bis auf über 2000 mm. An der Grenze des passatischen Gebietes steigt dann die Regenmenge rasch über 3000 mm. Die Isthmuskordillere jenseits der Atratosenke empfängt sehr starke Steigungsregen, leider liegen von ihrem kolumbianischen Teil keinerlei Messungen vor. Sie ist von dichtem Regenwald bedeckt.

Die Südgrenze des Savannengebietes verläuft am Fuße der Nordabdachung von Zentral- und Westkordillere, wo die spärlichen Messungen ein rasches Anwachsen des Niederschlages erkennen lassen. Cáceres, obwohl in nur 150 m Höhe gelegen, zeigt schon deutlich die Verhältnisse des Berglandes: erstens die sehr hohen Niederschläge von fast 4000 mm jährlich und zweitens die Verschiebung des Hauptmaximums in den Frühsommer.

Feuchter als die westlich angrenzenden Gebiete ist das große Binnendelta des Magdalena. Hier tritt ein merkliches Minimum der Regen im Juli auf als Vorbote der Sommertrockenzeit, die im Magdalengebiet südlich 8° n. Br. den Übergang zu äquatorialen Verhältnissen anzeigt. Offenbar ist dies eine Wirkung des hier in unzählige Arme und Lagunen (Ciénagas) zerteilten Flußsystems der großen Ströme des Magdalena, Cauca und San Jorge, die sämtlich aus dem äquatorialen Gebiet kommen und ihren Wasserstand entsprechend dessen Niederschlagsrhythmus ändern.

Die Sierra Nevada de Santa Marta läßt sehr schön die klimatischen Verhältnisse eines isolierten Hochgebirges im passatisch beeinflussten Klima studieren. Ihr Grundriß ist von dreieckiger Form. Die höchsten Erhebungen der ostwestlich verlaufenden Ketten liegen im Nordwesten, wo 5000 m überschritten werden; weiter südwärts folgen niedrigere parallele Ketten. Die Nordflanke empfängt hohe Niederschläge, die an der dem Passat am direktesten entgegenstehenden und höchsten Nordwestseite bis an die Küste einen dichten Regenwald erzeugen. Auch an der Westflanke fallen an ihren meernahen Teilen bedeutende Niederschläge, die in der Regenzeit auf das sonst ausgesprochen aride Vorland übergreifen. Der passatische Jahresgang der Regen ist deutlich zu erkennen, die sommerliche Trockenzeit kaum zu verspüren. Wesentlich trockener ist die dem Meer abgewandte Südseite des Gebirges, wo die untere Grenze des feuchten Waldes nur an ostexponierten Hängen und in Tälern unter 1000 m Seehöhe herabsteigt. Das Tal des Rio César, dessen Oberlauf in der Passatzeit austrocknet, ist sehr trocken. In der passatlosen Zeit, vornehmlich von Mai bis Oktober, dringen regenspendende Südwestwinde aus dem Magdalena-gebiet hierher vor. Die größere Feuchtigkeit der Nordseite des Gebirges zeigt sich auch darin, daß die Schneegrenze hier in etwa 4300 m Höhe liegt gegen 4700 m an der Südseite. Die starke Trockenheit im Süden und vor allem im Südwesten der Sra. Nevada deutet darauf hin, daß ihre Lee-wirkung in bezug auf den Nordostpassat auch in der passatlosen Zeit wirksam ist. Offenbar saugt das zu allen Jahreszeiten bestehende kontinentale Tiefdruckgebiet dann feuchte Meeresluftmassen in passatähnlicher Richtung an, die, abgesehen von den täglichen Seebrisen, als Luftbewegungen weniger in Erscheinung treten, aber der Konvektion an der Nordseite des Gebirges reichliche Feuchtigkeit zuführen, um dann abgereget auf die Leeseite hinüberzuwandern.

Ein besonders trockenes Klima hat die nach Nordosten vorstoßende Goajira-Halbinsel, die, abgesehen von einigen in ihren höheren Teilen bewaldeten Bergzügen, mit Dornbuschsteppe bedeckt ist und im Mittel 500—700 mm Jahresniederschlag erhält. Die einzige zwölfmonatige Reihe (Nazaret im Osten der Halbinsel) läßt den Oktober und November sowohl nach Zahl als Ergiebigkeit der Regentage klar hervortreten.

Die Sierra de Périjá hat eine trockenere Westflanke, die erst in größerer Höhe Wald trägt und dort auch Kaffeeanbau erlaubt, während die Ostseite sehr bedeutende Niederschläge erhält. Hier dürfte am Gebirgshang sicherlich die Jahresmenge von 4000 mm überschritten werden, auch ist die Trockenzeit keineswegs regenlos. Das venezolanische Vorland zeigt im Norden noch ein der Goajira-Halbinsel ähnliches Trockenklima, im Süden nehmen die Niederschläge gegen das Gebirge hin zu.

III. Das Gebiet der östlichen Tiefländer

Südlich der Kordillere von Mérida erstrecken sich weit nach Süden und Osten die Llanos, deren Niederschlagsverhältnisse besonders eingehend von *Humboldt* und *Bauer* beschrieben worden sind. Nach letzterem⁹⁾ erstreckt sich die Trockenzeit, in der der Passat kräftig weht, von Mitte Dezember bis Mitte März. In den übrigen Monaten fallen langdauernde Landregen in der Nacht und den kühleren Stunden des Tages, besonders morgens. Während des Hochsommers, vornehmlich im August,

entstehen nach klarem Morgenwetter am Nachmittag Wärmegewitter mit heftigen Platzregen, die aber nicht so ergiebig sind wie die Landregen.

Der Osthang der Ostkordillere empfängt wiederum sehr hohe Niederschläge, die in der Passatzeit merklich nachlassen und ihr Maximum in den Sommermonaten Mai-Juli haben. Die winterliche Trockenzeit nimmt bergeinwärts an Dauer und Intensität ab. Nach Süden nimmt sowohl die Menge als auch die Beständigkeit der Niederschläge zu: Zeigte Nunchia noch erhebliche Schwankungen der Jahresmenge (1932 — 2542 mm; 1936 — 5228 mm), so empfängt das ähnlich am Fuß eines Kordillereausläufers gelegene Villavicencio alljährlich hohe Niederschläge. Am weitesten nach Westen dringen die Savannen in die sog. Llanos von San Martin vor. Ihre Südgrenze bildet ungefähr der Rio Guaviare, hinter dem sich der äquatoriale Urwaldgürtel ausdehnt. San Martin liegt nahe am Gebirgsfuß und am Rande der Savannen, die hier etwa 2000 mm Jahresregenmenge empfangen dürften. Hier ist vor allem der sehr trockene Januar für die Entwicklung von Savannenvegetation verantwortlich.

Südlich des genannten Rio Guaviare kann von einer eigentlichen Trockenzeit nicht mehr gesprochen werden. In allen Monaten fallen hohe Regenmengen, deren Höhe allerdings einen gewissen Jahresgang zeigt. Sowohl Tieflandsstationen wie Florencia als auch Gebirgsorte wie Sibundoy zeigen ein ausgeprägtes Regenmaximum im Mai und einen ebenso ausgeprägten Rückgang im Dezember bis Februar. Florencia hat während der „Regenzeit“ monatlich 15—20 Regentage mit hohen Ergiebigkeiten, in der „Trockenzeit“ sind es etwa zehn. Sibundoy hat schon in der „Trockenzeit“ um 20 Regentage, in der „Regenzeit“ rund 25, jedoch von weit geringerer Ergiebigkeit als in Florencia. Offenbar beginnt hier der Übergang zur Nebelwaldregion.

Erst ganz im Süden, schon fast unter dem Äquator, zeigt das Klima von Puerto Asis äquatoriales Gepräge. Hier ist das zweite Minimum in den Monaten Juli bis September sehr ausgeprägt wie auch das darauffolgende Maximum im Oktober-November. Etwa in dieser Gegend verläßt der klimatische Äquator den Kamm der Ostkordillere, dessen Verlauf er etwa von der Breite von Bogotá an gefolgt war, und verläuft hinaus ins Tiefland.

IV. Die Kordillere von Bogotá

Mit dem Eintritt ins Gebirge nimmt in den Tälern und an den nach Westen abfallenden Abhängen die Niederschlagshöhe rasch ab. Der Jahresgang unterscheidet sich charakteristisch von dem der Llanos darin, daß die Sommertrockenzeit hier im Gebirgsinneren schon im Nordteil als ausgeprägtes Regenminimum auftritt, um weiter südlich die Wintertrockenzeit an Intensität zu erreichen. Vor allem in den Hochtälern entwickeln sich äquatoriale Verhältnisse. Die Herbstregenzeit ist aber noch immer die ergiebigere, wie auch die Monate Januar und Februar die trockensten des Jahres sind. Die Ergiebigkeit der Regentage nimmt stärker ab als ihre Zahl.

Eines der nördlichsten der großen Hochtäler ist das von Ocaña, wo der Rhythmus des Passatklimas besonders an der starken Wintertrockenzeit zu spüren ist. Die weiter südlich über 2000 m hoch gelegenen Orte Cáchira und Pamplona weisen einen unregelmäßigeren, aber deutlich zwei Maxima zeigenden Jahresgang auf. Weiter im Süden verbreitert sich die Ost-

kordillere. Ihre langgestreckten Ketten sind im Osten am höchsten. Die eingeschlossenen Talgebiete empfangen im Westen, wo die umgebenden Gebirgszüge noch nicht so hoch sind, zwischen 1000 und 2000 mm Regen im Jahr. In den östlichen Hochtälern, deren Sohlenhöhe 2500 m übersteigt, sinkt diese Menge bis nahe 500 mm. Allerdings erscheinen diese Täler infolge der niedrigeren Lufttemperatur als längst nicht so trocken wie etwa das Césartal. Auch sind selbst in der Trockenzeit völlig niederschlagslose Monate selten. Die Zahl der Regentage ist verhältnismäßig hoch, ihre Ergiebigkeit aber gerade in den Hochtälern niedrig, im Mittel unter 10 mm; an den begrenzenden Hängen nimmt sie zu.

Die höchste kolumbianische Station, zugleich die einzige über 3000 m hoch gelegene, ist Chitá südöstlich der Sierra Nevada de Cocuy, eines nord-südlich streichenden, in über 5400 m Höhe kulminierenden und in etwa 20 km Erstreckung von ewigem Schnee bedeckten Kammes. *Notestein* und *King*¹⁰⁾, welche dieses Gebiet im September bereisten, schildern recht anschaulich das Klima der Páramos im Regenschatten der Kette mit seinen heftigen Winden und der langen Regenzeit ohne starke Regenfälle bei geringer Verdunstung. Man darf annehmen, daß die Niederschlagsverhältnisse von Chitá den dort geschilderten nahekommen, wir hätten dann hier, einzig in ganz Kolumbien, Messungen für ein Páramoklima. Auch Chitá zeigt eine von keinen wesentlichen Schwankungen beeinflusste Regenzeit von April bis Oktober, ähnlich wie Nunchia im östlichen Tiefland. Die mittlere Ergiebigkeit eines Regentages beträgt 8—9 mm. Gewaltig ist der Unterschied, wenn man an den Ostabhang und damit auf die Luvseite des Gebirges kommt. Hier setzt sogleich unterhalb der Baumgrenze ein mit Epiphyten und Moos dicht überspannter Nebelwald ein. Oberhalb 3600 m waren die genannten Forscher ständig in Nebel und Regen gehüllt. Niederschlagsmessungen fehlen, doch befindet sich hier nach den Eindrücken von *Notestein* und *King* „one of the world's wet spots“, erinnernd an den Abhang von Cherrapundji in Assam, wo bekanntlich mit die höchsten Niederschlagsmengen der Welt gemessen werden.

Ein charakteristisches Hochtalklima hat Tunja. Neben der geringen Niederschlagsmenge fällt hier wie bei allen ähnlich gelegenen Stationen die verhältnismäßig schwache, wenn auch regelmäßige Periodizität der Regen auf. Der äquatoriale Rhythmus ist unverkennbar.

Das größte der Hochtäler ist die sog. Sabana de Bogotá, eine ausgedehnte, von hohen Bergketten umschlossene Hochebene mit einer Sohlenhöhe von über 2580 m. An ihrem Südostrand liegt die Hauptstadt Kolumbiens, von wo langjährige Beobachtungen vorliegen. Aus Gründen der besseren Vergleichbarkeit sind im Diagramm auf Karte 6 die Mittelwerte der Periode 1923—37 verwendet, welche eine Jahressumme von 938 mm ergeben. *Knoch*¹¹⁾ gibt als Mittelwert der vorangegangenen Jahre 1866—85 und 1894—1922 den Wert 1061 an; der von ihm angeführte Jahresgang gleicht im wesentlichen dem hier mitgeteilten, nur ist dort der Oktober der regenreichste Monat.

Bogotá hat einen rein äquatorialen Jahresgang der Niederschläge mit zwei Regenzeiten, deren erste im Laufe des März beginnt. Die Regen fallen vornehmlich nachts und in den frühen Morgenstunden. Gewitter sind nicht selten und meist mit starken Schauern, oft auch mit Hagelschlag verbunden. Fast täglich bildet sich Nebel. Im April regnet es noch häufiger und auch anhaltender, was zum Sprichwort „En Abril, aguas mil“ Ursache ge-

geben hat. Der Mai zeitigt die stärksten Niederschläge der ersten Regenzeit; Nebel und Gewitter treten nun zurück, die Regenschauer werden oft von klarem Wetter abgelöst. Im Juni beginnt die sommerliche Trockenzeit. Aus den westlichen Llanos, wo nun gerade die Regenzeit herrscht, kommen bisweilen feine Nieselregen, die sogenannten „Paramitos“, über die Kordillere herab, so daß dieser Monat verhältnismäßig viele, aber wenig ergiebige Regentage aufweist. Ähnliches gilt für Juli und August. Die Gewitter setzen völlig aus. Im September beginnt die herbstliche Regenzeit mit Zenithniederschlägen. Nachmittags um 14-15 Uhr bilden sich mächtige Quellwolken, aus denen abends und in den ersten Nachtstunden schwere Schauer unter Gewittererscheinungen, manchmal auch mit Hagel, niedergehen. Allerdings treten diese Nachmittagsgewitter nicht mit solcher Regelmäßigkeit auf wie in anderen tropischen Gegenden, vielmehr gibt es auch Tage mit Landregen oder Nieseln sowie ganz regenlose Tage. Im Oktober und November haben sich diese Verhältnisse am stärksten entwickelt, in diesen Monaten fallen regelmäßig die höchsten Niederschlagsmengen des Jahres. Im Laufe des Dezember flauen die Regen ab, die Gewitter verebben und Nieselregen und Nebel, dazu starker nächtlicher Taufall, mitunter als Rauhref, sind die Niederschlagsformen der winterlichen Trockenzeit, die den Januar und Februar umfaßt und sich bis in den März erstrecken kann. Dauer und Grenzen der Regenzeiten können starken Schwankungen unterliegen, doch ist der charakteristische Gang stets unverkennbar.

Der Südwesten der Kordillere zeigt den Übergang zu den Verhältnissen im Magdalenatal. Die stärksten Regen dieser Gebiete fallen in den Monaten Oktober und November, ähnlich wie in den Hochtälern, jedoch tritt die Wintertrockenzeit stark zurück, die Haupttrockenzeit liegt im Sommer. Es ist hier augenscheinlich das Überlagerungsgebiet zweier Klimate. Während das äquatoriale Klima im Magdalenatal den Grundrhythmus der Niederschläge bestimmt, bewirkt der passatische Einfluß das Auftreten des Hauptmaximums im Herbst. Der Übergang vom kühlen und niederschlagsarmen Klima der Hochebene zu der feuchten Hitze des westlichen Kordilleregebiets ist nach den Berichten vieler Reisender¹²⁾ hier ganz besonders eindrucksvoll, wenn man, von Bogotá kommend, über einen mäßig hohen Sattel in das steil abfallende Tal von Fusagasugá kommt. Wo die heiße und feuchte Luft des Tales auf die kalte der Hochebene stößt, sind die Hänge mit tiefend feuchtem Urwald überkleidet, der einen starken Kontrast zur baumarmen Grasvegetation der „Savanne“ bildet.

V. Das Becken des oberen Magdalena

Die Niederschlagsverhältnisse der großen Talebenen des oberen Magdalena und Cauca werden dadurch gekennzeichnet, daß das Wettergeschehen in ihnen durch die sie umschließenden hohen Bergzüge von äußeren Einflüssen weitgehend abgeschirmt ist. So kann sich im Magdalenatal der äquatoriale Rhythmus im Regenverlauf ziemlich ungestört entwickeln. Im Laufe des Vormittags heben sich nach morgendlicher Klarheit des Himmels Nebel an den Bergwänden empor, die sich zu Wolken verdichten. Gegen 9 Uhr herrscht an der Talsohle wieder klares Wetter, während die Hänge tagsüber in Wolken gehüllt bleiben und beregnet werden. Auf der Talsohle regnet es während der Regenzeit vornehmlich in den Spätnachmittags- bis Abendstunden. Auch in der Nacht kann es regnen; während

der zweiten Nachthälfte klärt es dann allgemein auf. Die Ergiebigkeit eines Regentages schwankt recht stark. Sie liegt im Inneren des Beckens im allgemeinen bei 10 mm. In feuchten Jahren werden indes weit höhere Beträge erreicht.

Die Vegetation besteht, abgesehen von Galeriewäldern an den Flußläufen, aus Savannen und eingestreuten Partien von Dornstrauchsteppe von stellenweise äußerst trockenem Charakter (Kakteen). Hierfür ist neben der hohen Temperatur (Mitteltemperatur am Magdalena um 28°, Höchsttemperatur bis 39,5° gemessen) bei geringen Niederschlagsmengen auch der sehr durchlässige, aus Tuffen und Geröll bestehende Untergrund verantwortlich. Das Ansteigen der Niederschlagsmenge an den die Ebene umrahmenden Berghängen ist an deren Bewaldung zu erkennen; die hohen Lagen sind mit dichtem Urwald bestanden. Im Südteil des Magdalenabeckens wird es immer bergiger. Das Land hat Savannencharakter, der dichte Wald beginnt im allgemeinen erst bei 1000 m Höhe, darunter wechseln lockere Baumgruppen mit Grasland. Die obere Waldgrenze steigt stellenweise bis an die 4000 m-Grenze; sie liegt meist zwischen 3000 und 3500 m hoch.

Diese Beobachtungen stimmen gut mit den Regenmessungen im Magdalena über ein. Die Talsohle empfängt im allgemeinen Niederschläge zwischen 1000 und 1500 mm im Jahr; im Südteil, wo der Strom nicht mehr in einer breiten Aue, sondern in einem eingeschnittenen Tale zwischen Hügelketten dahinfließt, dürfte am Talgrunde die 1000 mm-Grenze unterschritten werden, da schon die einige 100 m über dem Fluß liegenden Stationen ihr nahekommen. Während im Nordteil die sommerliche Trockenzeit nur wenig stärker ausgeprägt ist als die winterliche — sie dauern von Juni bis August bzw. von Mitte Dezember bis Anfang März —, so überwiegt sie diese im Südteil beträchtlich. Sie umfaßt dort auch den September, während die winterliche Trockenzeit stellenweise erst im Januar einsetzt. Während im Norden die herbstliche Regenzeit die stärksten Niederschläge bringt, tritt südlich von Ibagué die Frühjahrsregenzeit stärker hervor.

VI. Das Bergland von Medellín

Der Nordteil der Zentralkordillere hat im Innern und am Ostabfall nordtropischen Niederschlagscharakter, der noch in Cáceres verspürt wird. Erst noch weiter südlich machen sich Ansätze der zweiten Trockenzeit in einem deutlicheren Rückgang der Niederschlagsmengen in den Monaten des Nordsommers bemerkbar. Die Niederschlagsmengen sind hier überall sehr beträchtlich, wie auch vor allem in dem Gebiet, wo sich der Magdalena zwischen den Randketten von Zentral- und Ostkordillere, die hier nahe zusammenkommen, sein Bett bahnt. Barranca Bermeja liegt schon inmitten des Waldgebietes und zeigt deutlich eine doppelte Regenzeit. Noch ausgeprägter ist diese Gabelung in Puerto Berrio, wo auch die höchsten Niederschlagsmengen am Magdalenaenstrom gemessen werden; sie steigen an den Hängen auf über 5000 mm. Hier liegt das Hauptregenminimum im Winter, 80 km weiter südlich in Victoria bereits im Sommer. Der klimatische Äquator trennt also diese beiden Orte.

Eine ähnliche Trockenheit der Täler wie in der Ostkordillere findet sich weniger stark ausgeprägt auch in der Zentralkordillere. Charakteristisch für solch ein Talklima ist das von Medellín. Hier findet sich neben einer Trockenzeit von Mitte Dezember bis Mitte April noch ein Zurückgehen

der Regen um den Monat Juli. Die Zahl der Regentage ist recht hoch; besonders während der Regenzeit vergeht kaum ein Tag ohne Niederschläge. Doch ist deren Ergiebigkeit gering, sie liegt im Mittel bei 7 mm für den Regentag. Nach Codazzi dauert die kleine Trockenzeit, während der die Regenhäufigkeit zurückgeht, von Mitte Juni bis Mitte August, die Haupttrockenzeit beginnt in der Umgebung von Medellin und nördlich davon schon Mitte November.

Der klimatische Äquator überquert das Caucaatal etwas nördlich von Rio Sucio, bis wohin sich noch der Einfluß des Caucabeckens erstreckt. Dann folgt er dem Kamm der Westkordillere nach Süden. Südlich des klimatischen Äquators fällt die Haupttrockenzeit in den Nordsummer, sie macht sich im ganzjährig feuchten Gebirgsklima nur durch eine Abschwächung der Regenhäufigkeit und -ergiebigkeit bemerkbar. Das hochgelegene Manizales hat eine hohe Regenhäufigkeit, vor allem während der herbstlichen Regenzeit; die Ergiebigkeit eines Regentages liegt verhältnismäßig niedrig bei 10 mm.

VII. Das Becken des oberen Cauca

Das Caucabecken zeigt im wesentlichen dem Magdalenatal verwandte Verhältnisse mit zwei Regenzeiten und zwei Trockenzeiten, doch mit einigen Unterschieden; seine Sohle liegt ja 5—600 m höher und es ist wesentlich schmaler. Dazu kommt, daß das Magdalenatal im Osten an ein Gebiet grenzt, dessen Niederschläge vom Passat gesteuert werden, während westlich der Westkordillere während des ganzen Jahres hohe Regenmengen fallen. Hieraus ist wohl die kleinere Amplitude des Jahresganges der Niederschläge im Caucaatal im Vergleich zu dem des Magdalenatales zu erklären.

Die Beobachtungsstationen liegen zumeist an der Bahnlinie, die dem Ost- rand der Stromaue des Cauca folgt. Dieser tiefste Teil der Talsohle, die aus ihr aufsteigenden unteren Hänge der Westkordillere empfangen die niedrigsten Regenmengen des ganzen Gebietes, etwa 1000—1200 mm jährlich, stellenweise unter 900 mm. Alle Schilderungen erwähnen die auffallende Trockenheit des steilen Abhangs, welche sicherlich durch die Föhnwirkung der das Gebirge überschreitenden Luftmassen zustandekommt. Erst kurz unterhalb des Grates gehen die öden und verbrannten Matten in Höhenwald über.

Ein anderes Bild bietet der allmählich gegen die Zentralkordillere ansteigende Westteil des Tales, wo die Niederschläge bald 1500 mm jährlich überschreiten und an den Randketten der Zentralkordillere die 2000-mm-Grenze erreicht wird.

Nach Süden zu tritt allmählich die sommerliche Trockenzeit immer stärker in den Vordergrund, ebenso die Regenzeit im Nordfrühling, deren Dauer die der herbstlichen übertrifft. Je weiter man nach Süden kommt, desto mehr nimmt die winterliche Trockenzeit den Charakter eines vorübergehenden Nachlassens der Niederschläge innerhalb einer durchgehenden Regenzeit an. Dieser im Laufe des Dezember einsetzende Rückgang, im Volksmund als „*veranito del niño*“ (*niño* = Kind, hier das Christkind gemeint) bezeichnet, findet seine stärkste Ausprägung meist erst im Februar. Das ist schon bei Cali deutlich zu erkennen.

VIII. Das Bergland von Popayán und Pasto.

Das südlich Santander anhebende Bergland empfängt in den höheren Lagen Niederschläge von mehr als 2000 mm jährlich mit südtropischem Jahresgang. Die Täler des Cauca und seiner wichtigsten Nebenflüsse bilden, besonders wo sie größere Breiten gewinnen, trockene Sonderklimate aus, ähnlich wie es im oberen Magdalenatal der Fall ist. Der jährliche Verlauf der Regen zeigt nach einer Trockenzeit in den Monaten Juni bis September ein plötzliches Ansteigen bis auf den höchsten Stand im Oktober bis Dezember und dann ein langsames Absinken, manchmal von einem kleinen Zwischenminimum am Jahresanfang unterbrochen, bis im Juni wieder die Trockenzeit einsetzt.

Das hoch über dem Caucaatal gelegene Popayán kann als charakteristisch für das ganze, zwischen der West- und Zentralkordillere gelegene Bergland bis zur Breite von etwa $1\frac{1}{2}^{\circ}$ N angesehen werden. Die Trockenzeit beginnt im Laufe des Juni und endet im September, worauf die Niederschläge sprunghaft ansteigen, um im Oktober-Dezember zu kulminieren. In dieser Zeit regnet es an 20—25 Tagen im Monat. Die mittlere Ergiebigkeit eines Regentages, die während der Trockenzeit zwischen 5 und 10 mm liegt, steigt zur Zeit der stärksten Regen bis gegen 15 mm, während sie in den folgenden Monaten, deren Regensummen ständig abnehmen, zwischen 10 und 15 mm bleibt. Die Regen fallen zumeist in kurzen und heftigen Güssen; Wolkenbrüche, die 35—40 mm innerhalb einer halben Stunde erbringen, sind nicht selten, vor allem in den drei ersten Monaten des Jahres, und kommen gewöhnlich zwischen 20 Uhr und 7 Uhr in der Nacht vor. In den übrigen Monaten fallen die Regen gewöhnlich nachmittags zwischen 15 Uhr und 17 Uhr. Ganz verregnete Tage, wie man sie in Bogotá kennt, gibt es hier nicht. Hagelfälle sind nicht selten, vor allem im März und April; sie sind mitunter von solcher Ergiebigkeit, daß die Flüsse über ihre Ufer treten¹³⁾.

In etwa $1\frac{1}{2}^{\circ}$ N treten die hohen Ketten der West- und Zentralkordillere allmählich zusammen. Zwischen ihnen liegen tiefeingeschnittene Täler, deren Sohlen dennoch sehr hoch liegen und deren klimatische Verhältnisse denen der Hochtäler in der Zentralkordillere nördlich Bogotá ähneln. Das auf der Sohle eines solchen Hochtales in 2600 m Höhe gelegene Pasto weist denselben Jahresgang der Niederschläge auf wie Popayán, nur daß hier ein kleines Zwischenminimum in den Monaten Januar und Februar liegt, dem „*veranito del niño*“ entsprechend. Die Regenhäufigkeit ist gering und liegt unter 10 Tagen im Monat, die Ergiebigkeit eines Regentages beträgt im Mittel etwa 7 mm.

Der Rio Patia durchbricht die Westkordillere in einem ganz tief eingeschnittenen Tal, entlang dem sich der Übergang vom warmtrockenen Binnenklima seines Oberlaufes zum feuchtheißen Küstenklima in äußerst eindrucksvoller Weise vollzieht. Auch die hochgelegenen Täler westlich des Hauptkammes der Westkordillere sind noch ziemlich trocken.

IX. Das pazifische Gebiet

Im Norden dringt der Einfluß des Passates durch die Atratosenke bis an die pazifische Küste vor. Zwar nimmt die Höhe der Niederschläge rasch zu, aber der passatische Rhythmus mit der deutlichen Trockenzeit in den ersten vier Monaten des Jahres und dem Regenmaximum im Oktober-No-

verember ist noch in den einjährigen Beobachtungen im Pazifikhafen Juradó (7° 6'N) bei einer Jahresmenge von 4262,7 mm klar erkennbar. Die Tage sind hier durch meist klaren Himmel mit scharf begrenzten, rasch ziehenden Wolken ausgezeichnet, aus denen sich immer wieder dunkle Schauerböen mit heftigen Güssen entwickeln. Auch Gewitter sind zahlreich, sie werden besonders an Erhebungen ausgelöst; schon wenige hundert Meter hohe Berge fallen durch sehr häufige Gewitterbildung auf.

Leider fehlen im ganzen nach Süden folgenden Übergangsgebiet die Messungen völlig, die nächsten liegen erst von Quibdó (5° 41' N) vor, wo man aber schon mitten im Regengebiet ist. Hier sind die höchsten Niederschläge von ganz Südamerika gemessen worden. Das Jahr 1936, welches im ganzen Caucatal als besonders trocken hervorstach, hat hier eine Gesamtmenge von 19 839,2 mm erbracht, wovon allein im September an 25 Tagen 3316,0 mm fielen. Im Jahre 1937 wurden insgesamt 13 401,1 mm gemessen und in keinem der ferner vorliegenden Jahre weniger als 8000 mm. Solche Werte werden nur an ganz wenigen Orten auf der ganzen Erde erreicht. Von einer Trockenzeit kann hier keine Rede sein, jedoch lassen die Niederschlagsmengen ein deutliches Minimum in den Monaten Februar und März erkennen, dem ein Maximum in den Monaten Juni und Juli gegenübersteht. Die Zahl der Regentage ist hoch, kaum daß sie in einem Monat unter 20 sinkt; bedeutend ist vor allem die Tagesergiebigkeit.

Eine ähnlich hohe Niederschlagsmenge kennzeichnet das ganze südlich anschließende Gebiet von der Küste bis an die Hänge der Kordillere, wo durch den Steigungseffekt extrem hohe Werte erreicht werden mögen. Die Küstenkordillere übersteigt in dieser Breite nicht 300 m Höhe, sie ist daher kein Hindernis für die regenträchtigen Luftmassen vom Pazifik. Die ausführlichsten Messungen dieser Gebiete liegen für Andagoya vor. Hier fallen die Regen vorwiegend nachts, von der Jahressumme im Mittel 78,7% in der Zeit von 19—7 Uhr, die übrigen 21,3% tags von 7—19 Uhr. Gänzlich regnete Tage gibt es nur selten während der Regenzeit, meist scheint tags die Sonne. An 158 Tagen im Jahr regnet es tags, dagegen an 277 Tagen nachts; insgesamt gibt es im Mittel 303 Regentage jährlich. Auch die Tagesregen beschränken sich hauptsächlich auf die frühen Morgenstunden von 7—9 Uhr und die Abendstunden von 17—19 Uhr. Des Nachts schüttet es dann aber auch ausdauernd vom Himmel.

Dieselben Verhältnisse finden sich in Buenaventura, wo der von Osorio¹⁴⁾ angegebene und von verschiedenen anderen Autoren zitierte Mittelwert von 3646 mm aus sehr unvollständigen Jahreswerten gewonnen und daher viel zu niedrig ist. Der Jahresgang erinnert hier in seiner Form fast an Stationen im passatischen Gebiet, nur sind hier auch während der „Trockenzeit“ die Niederschläge sehr hoch. Es regnet während dieser an 20—25 Tagen monatlich, während der übrigen Monate an 25—30 Tagen mit hohen Ergiebigkeiten. Doch gibt es auch wochenlange Regenpausen. Franze¹⁵⁾ nennt eine alljährlich wiederkehrende Periode trockeneren Wetters, welche hier auch als „*veranito de San Juan*“ bezeichnet wird.

Die höchsten Niederschlagsmengen dürften an den Westhängen der Westkordillere in mittleren Höhen fallen, wo sicherlich 10 m im Jahr erreicht werden, wie es z. B. *Aubert de la Rue*¹⁶⁾ für das Quellgebiet des Rio Yurumangui und Rio Naya annimmt. In größeren Höhen nehmen die Niederschläge offenbar wieder ab. Frontino im Norden der Westkordillere zeigt einen ähnlichen Jahresgang wie Buenaventura.

Die Kordillerentäler sind dagegen auch westlich des Hauptkammes trocken, wie man es etwa bei der Bahnfahrt von Buenaventura nach Cali sehr schön beobachten kann. Die Bahn, an deren Stationen Regenmessungen angestellt werden, folgt dem Tal des Rio Dagua, der sich seinen Weg zwischen hohen Bergwänden bahnt. Während vor dem Ausgang des Tales noch gewaltige Regenmengen niedergehen, nimmt deren Stärke innen stark ab. Jedem Reisenden fällt der schnelle Übergang im Vegetationsbilde auf, wie der überfeuchte Urwald zunächst von trockenheitliebenden Pflanzenarten durchsetzt wird, immer niedriger wird und endlich von Gesträuchformationen und Grasfluren abgelöst wird. Die stärkste Trockenheit wird im nordsüdstreichenden Daguatal erreicht, aus dem der gleichnamige Fluß in scharfer Linkswendung durch eine schluchtartige Enge ausbricht. Hier herrschen Mimosensträucher und Kakteen vor und an der Bahnstation Espinal sinkt die jährliche Regenmenge beträchtlich unter 1000 mm. Die Zahl der Regentage ist gering; auch während der Regenzeit sind es nur etwa 10—12 monatlich, deren Ergiebigkeit bei 10 mm liegt. Die Haupttrockenzeit fällt auch hier in den Juni bis September, durch ein kleines Nebenmaximum von einer Nebentrockenzeit im Februar-März getrennt; die Hauptregenzeit liegt im Oktober-November. Die Vegetation spiegelt auch hier weitgehend die Niederschlagsverhältnisse wider. Während die Talsohle am trockensten ist, ziehen sich an den Hängen zunächst Grasfluren mit Trockenrissen hinauf, die mit wachsender Höhe immer feuchter werden, bis sie in etwa 1000 m Höhe in Wald übergehen. Dagua, etwa 300 m über dem Talboden gelegen, erhält wieder bedeutende Regenmengen; es ist von feuchtem Wald umgeben. Der Jahresgang ist ähnlich wie in Espinal ein äquatorialer mit doppelter Regenzeit. Da die das Daguatal im Westen begrenzende Gebirgskette höher ist als die östliche, liegt diese im Regenschatten von jener und hat ein trockeneres Klima. Etwa in 1000 m Höhe setzt der Bergwald ein, der endlich in Paßhöhe in Grasländer mit Schluchtenwald übergeht. Ähnliche Trockentäler sind z. B. das Durchbruchstal des Rio Patia im Süden und das des Rio Sucio nördlich von Frontino.

Die überfeuchte Zone reicht noch im Mündungsgebiet des Patia bis ans Meer, tritt weiter südlich jedoch mehr ins Landesinnere zurück. Die Jahresmenge von Tumaco bleibt schon hinter 3000 mm zurück. Es kündigt sich hier bereits die Trockenheit an, die weiter südlich an der equadorianischen Küste so ausgesprochene Formen annimmt.

X. Niederschlag und Vegetation.

Wie schon gesagt, wird das Vegetationsbild in den Tropen so sehr durch die verfügbaren Niederschlagsmengen geprägt, daß es wiederum Rückschlüsse auf diese erlaubt. Das trifft für unser Gebiet mit Ausnahme der hochandinen Lagen voll zu.

Die Tiefländer im Norden und Osten stehen unter passatischem Einfluß und ihr Klima ist einmal durch die andauernd hohe Temperatur (im Mittel zwischen 26° und 28°), zum andern durch eine ausgesprochene Trockenzeit von drei bis fünf Monaten Dauer gekennzeichnet. Nach dem Köppenschen Schema müßte unter diesen Umständen die Grenze zwischen Steppen- und Savannenklima bei 700—750 mm jährlicher Regenmenge, die Grenze zwischen Steppen- und Wüstenklima etwa bei 350 mm liegen. Hiernach hätte fast das ganze genannte Gebiet Savannenklima. Die ausdauernde Trockenzeit mit ihren drei praktisch regenlosen Monaten bringt es mit sich, daß

vor allem im nördlichsten Küstengebiet und auf der Goajira-Halbinsel bereits bei Unterschreitung von 1000 mm Jahresregenmenge der Savannencharakter der Landschaft verschwindet und eine sehr trockene Dornbuschvegetation mit Kakteen und Mimosen auftritt, die sich nur in der Regenzeit mit einem bunten Blütenkleid umgibt. Die Gebiete mit mehr als 1000 mm Jahresmenge sind von Kurzgrassavanne mit einzelstehenden Bäumen, vornehmlich Palmen, bedeckt. Das Grasland verdorrt in der Trockenzeit und zwingt die großen Viehherden, auf die immerfeuchten Flußufergebiete auszuweichen.

Die 1500-mm-Isohyete fällt ungefähr mit dem Übergang zur Hochgrassavanne mit allmählich dichter werdendem Baumbestand zusammen, vor allem am Fuße der Kordilleren, wo dann etwa bei der Jahresmenge von 2000 mm der geschlossene Regenwald einsetzt. Allerdings sind in diesen Gebieten die Monate der Trockenzeit nicht mehr so völlig regenlos wie im Norden. Dort fallen z. B. am Westabhang der Sierra Nevada de Sa. Marta bei Aracataca im Jahr etwa 2000 mm Regen, die lange Trockenzeit läßt es aber hier nicht zur Ausbildung von Regenwald kommen. Vielmehr wächst hier ein lockerer Wald von laubwerfenden Bäumen, charakterisiert vor allem durch Vertreter der Bombacaceen-Gattung *Cavanillesia*, nach deren spanischer Bezeichnung *Schultze* *) für diese Waldform den Namen „Macondowald“ geprägt hat. Ihre dickbauchigen Stämme sind besonders für die Speicherung von Wasser für die Monate der Trockenzeit eingerichtet. Wo die Niederschläge zu allen Jahreszeiten reichlich fallen, wie im pazifischen Küstengebiet oder südwärts der östlichen Llanos, steht überall dichter Regenwald, dessen Charakter aber nicht mehr ohne weiteres Schlüsse auf die genaue Niederschlagshöhe zuläßt. Ähnlich sind die Verhältnisse im Cauca- und Magdalenabecken.

In höheren Regionen tritt die Trockenheit des Klimas entsprechend der niedrigeren Temperatur erst bei geringeren Niederschlagsmengen hervor. So tragen die Hochtäler in der Ostkordillere mit über 2000 m Sohlenhöhe Savannenvegetation („Sabana de Bogotá“), die trotz der unter 1000 mm liegenden Jahresregenmenge keineswegs einen trockenen Eindruck macht. Die feuchten Gebirgshänge tragen Wald, der sich von dem in tieferen Lagen zunächst nicht unterscheidet. Weiter oben im Bereich der Wolken beginnt dann der Nebelwald, der durch seinen Reichtum an Epiphyten und Moosen sowie durch verschiedene Charakterarten wie Baumfarne, *Chusquea-Bambus* und Bäume der Gattung *Weinmannia* ausgezeichnet ist. Leider fehlen Regenmessungen aus dieser Zone, wo sie auch nicht den gesamten Niederschlag erfassen würden, von dem ein großer Teil tauartig an den Pflanzen abgesetzt wird. Wir befinden uns hier in der Sperrschicht, wie sie *Schneider-Carius* ¹⁷⁾ für Afrika beschrieben hat. In den darüber liegenden hochandinen Gebieten spielen andere klimatische Faktoren wie Wind, Strahlung und Verdunstung eine überragende Rolle und verhindern den Waldwuchs. Die Niederschläge sind stellenweise sicherlich recht bedeutend, liegen aber im allgemeinen wohl unter den Werten der unteren Hänge.

Das gilt insbesondere von der höchsten andinen Vegetationsregion, dem Páramo, der meist in etwa 3000 m Höhe den Wald ablöst. Seine windgepeitschten, von Nebeln, Regen und Hagelfällen gefeuchteten Triften tragen eine gedrückte Vegetation, im unteren Teil noch mit locker eingestreutem Strauchwerk und verkrüppelten Bäumen, in höheren Lagen vor allem mit den charakteristischen „Frailejones“ (*Espeletia*, *Culcitium*). Es ist schon

früher von botanischer Seite¹⁸⁾ darauf hingewiesen worden, daß die Paramopflanzen von xerophilem Habitus sind, was sich durch Wollhaarbekleidung der kleinen, lederartigen Blätter, deren Neigung zum Einrollen, die bodenständigen Blattrosetten mit unterirdischen Reservespeichern, also lauter Schutzmittel gegen zu starke Verdunstung zu erkennen gibt. Außer auf die starke Verdunstung in der Höhenluft dürfte das auch auf die Perioden wüstenhafter Trockenheit zurückzuführen sein, die im Bereich über der Sperrschicht immer wieder auftreten¹⁷⁾ und gegen die sich die Pflanzen schützen müssen, auch wenn in der übrigen Zeit ein hohes Wasserangebot besteht. Ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen Vegetation und Niederschlag besteht hier nicht mehr.

XI. Niederschlag und Relief

Nachdem die allgemeinen Wirkungen des Reliefs auf die Niederschlagsverteilung wie Exposition, Stau und Föhn usw. bereits oben besprochen wurden, seien hier noch zwei Sonderfragen berührt

Eine Höhenzone maximaler Niederschläge liegt an der Ostseite der Ostkordillere und am feuchten Mittellauf des Magdalena nach den vorliegenden Messungen zwischen 1000 und 1300 m hoch. Zum Vergleich sei angemerkt, daß diese Zone in Cherrapundji (Assam) in 1300 m Höhe liegt. In der Sierra Nevada de Santa Marta scheinen nach den wenigen vorliegenden Messungen die Verhältnisse ähnlich zu liegen. Im Innern der Kordilleren und in den großen Becken kann bis zur Höhe von etwa 2000 m Höhe ein stetiges Anwachsen der Niederschlagsmenge beobachtet werden, ohne daß es bis dahin zu einer Maximumbildung käme. An der pazifischen Seite der Westkordillere haben wir keine Hangstationen; solche dürften noch bedeutend höhere Regensummen aufweisen als die Tieflandsstationen, an denen im Jahresmittel 7000—8000 mm erreicht werden. Die oben genannte Schätzung von 10 000 mm für den Kordillerenhang erscheint daher als recht wahrscheinlich. Die Niederschlagsmenge dürfte hier in geringerer Höhe kulminieren, da keine so starke Luftströmung auf das Gebirge zusetzt wie im Monsun- oder Passatgebiet.

Eine andere Wirkung des Reliefs auf die Klimaverhältnisse sind die Trockentäler. Nach Wagner¹⁹⁾ entstehen im Quertälern von Gebirgsketten, durch welche bei Tage Wind aus dem Vorland in das Gebirge gesaugt wird („Ausgleichswind“), wirbelartige Luftbewegungen, deren Achsen parallel zu der des Tales sind. Hierdurch steigt die Luft an den Hängen des Tales empor, in seiner Mitte sinkt sie nieder und kann dort föhnartig austrocknend wirken. Ein derartiger Fall ist im Tal von Dagua in der Westkordillere schon seit längerem bekannt, er wurde bereits oben geschildert. Ähnliche Verhältnisse scheinen auch im Tal von Cúcuta in der Ostkordillere obzuwalten, wo gleichfalls auf kürzeste Entfernung ein starker Rückgang der Niederschläge gemessen wurde. Diese Erscheinung tritt vor allem in der Vegetation sehr deutlich zu Tage, wodurch man erst auf sie aufmerksam geworden ist. Während nämlich in solchen Fällen die oberen, im Bereich der aufsteigenden Luftmassen befindlichen Hänge mit feuchtem Wald überkleidet sind, geht dieser nach unten hin in trockenes Grasland über, während sich auf der Talsohle, die am stärksten unter dem Einfluß der absteigenden Luftmassen steht, eine äußerst xerophile Vegetation mit Kakteen, Mimosen usw. angesiedelt hat. Troll²⁰⁾ hat solche Täler in Bolivien beobachtet, wo es die feuchten, vom amazonischen Tiefland aufstei-

genden Ostwinde sind, die gleichwohl durch die genannte Föhnwirkung zu wüstenähnlicher Trockenheit auf der Sohle der die dortige Ostkordillere durchschneidenden Täler führen. In Kolumbien scheint u. a. auch das Tal des Rio Sueño bei Dabeiba (nordwestlich von Frontino) ein weiteres Beispiel dafür zu liefern.

Zu den Karten:

Zeigen Karte 1 die Jahresniederschlagsmengen und Karte 6 die Jahrgänge, so bringen die Karten 2—5 die Verhältnisse in vier für das Niederschlagsjahr charakteristischen Monaten zur Anschauung. Hierbei ist der Februar als Repräsentant der nordtropischen Trockenzeit, der Juli als der der südtropischen Trockenzeit gewählt worden, während Mai und Oktober die Regenzeiten vertreten.

Der Februar fällt besonders durch die starke Trockenheit der ganzen unter dem Einfluß des Nordostpassats stehenden Gebiete auf. Die Tiefländer am Karibischen Meer sind um diese Zeit fast völlig regenlos. Die Trockenzeit herrscht auch durchaus in den Tälern der Kordillere von Bogotá und dringt tief in das Bergland von Medellín ein. Selbst das immerfeuchte pazifische Gebiet zeigt in seinem Nordteil um diese Zeit einen merklichen Rückgang der Regen. Das Ausgreifen des Trockenklimas im Osten der Kordilleren bestimmt die südliche Erstreckung der Savannen.

Vergleicht man die Februarkarte mit der Julikarte (Karte 4), so tritt deutlich das Ausgreifen des südtropischen Jahreganges im Gebiet zwischen den Kordilleren hervor. Im Magdalena- und Cauca Becken sowie im Gebiet der Kordillerenvirgation liegt die Haupttrockenzeit ausgesprochen im Sommer, während der größte Teil des passatischen Gebietes nur einen schwachen Rückgang der Niederschläge zeigt. Nur ein schmaler Saum an der Küste der Karibischen See sowie die von der allgemeinen Zirkulation abgeschirmten Hochtäler der nördlichen Ost- und Zentralkordillere weisen noch eine merkliche Sommertrockenzeit auf.

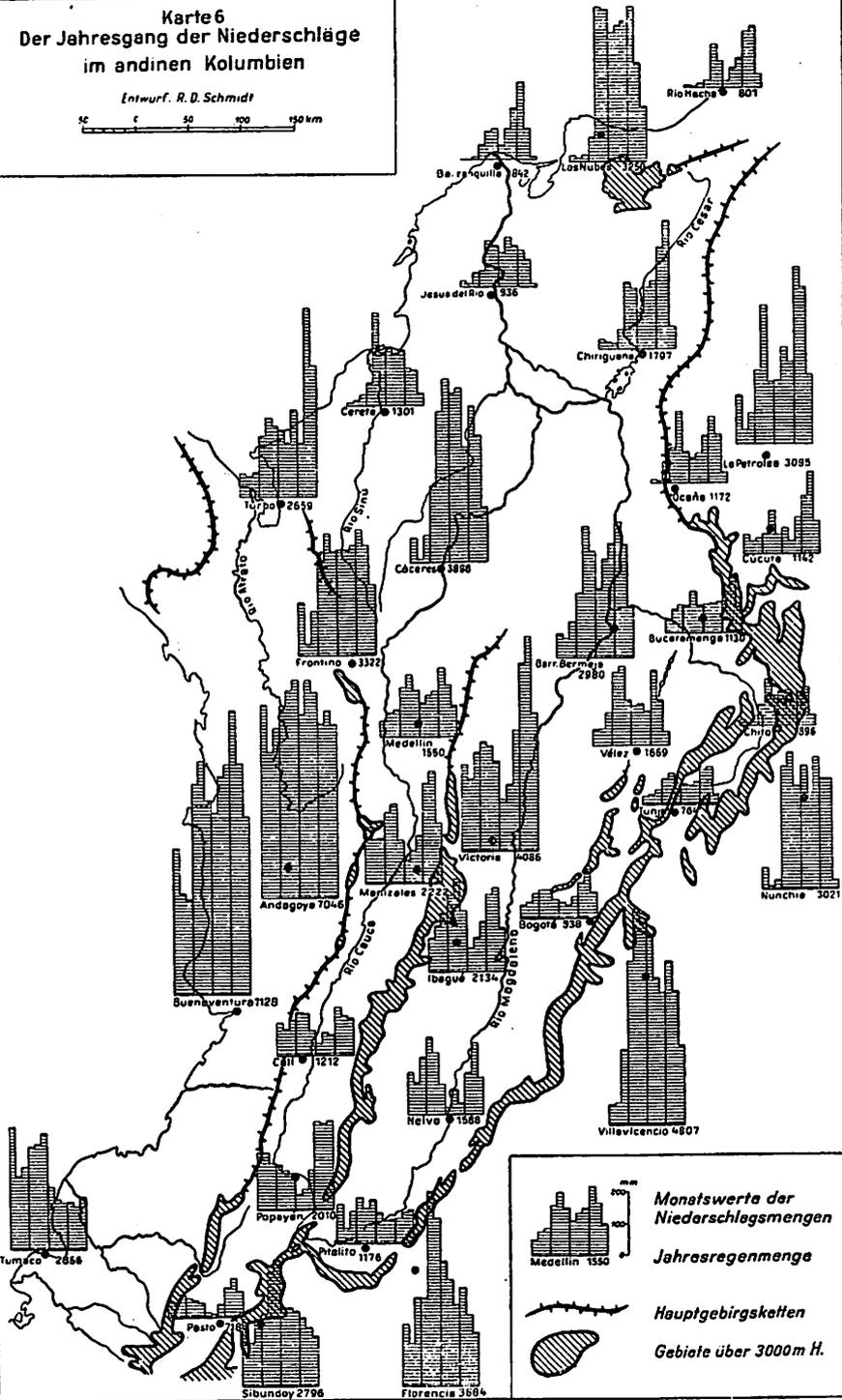
Die beiden Karten der Regenzeiten (Karte 3 und 5) zeigen nicht so ausgesprochene Unterschiede. Wohl ist die herbstliche Regenzeit im allgemeinen für die Gebiete mit nordtropischem Jahrgang, die also nördlich des Regenzeitenäquators liegen, die Hauptregenzeit (vergleiche hierzu und zum vorhergehenden Karte 6), doch gilt das nicht ohne Einschränkungen. In den östlichen Llanos z. B. bringt der Mai die höchsten Niederschläge des Jahres, danach sinken diese allmählich ab bis zu einer Wintertrockenzeit. In den Gebieten südlich des Regenzeitenäquators gibt es zwei Regenzeiten, eine längere, aber nicht so hohe Monatswerte zeitigende im Nordfrühling und eine kürzere im Nordherbst, wobei im Oktober und November oft die höchsten Niederschlagsmengen des Jahres gemessen werden.

Karte 6 zeigt in 34 Diagrammen den Jahrgang der Monatsregensummen (Januar-Dezember) für eine Reihe charakteristischer Orte. Die zugrundegelegten Werte beziehen sich meist auf die Periode 1926—1937.

Karte 6
Der Jahresgang der Niederschläge
im andinen Kolumbien

Entwurf: R. D. Schmidt

50 100 150 km



Literatur

1. Codazzi-Perez, Geografia fisica y politica de los E. U. de Colombia. 2 Bde. Bogotá 1862.
2. A. Hettner, Die Kordillere von Bogotá. — Peterm. Mitt. Erg.-H. 4, 1892.
3. R. C. Murphy, The Litoral of Pacific Colombia and Ecuador. — Geogr. Review 1939, S. 1—33.
4. A. Hettner, Regenverteilung, Pflanzenwuchs und Besiedlung in den tropischen Anden. — Richthofen-Festschrift 1892, S. 197—233.
5. C. Troll, Kolumbien. — Handbuch d. geogr. Wissensch. Bd. Südamerika. 1932.
6. A. Schultze, Flammen in der Sierra Nevada de Santa Marta. — Mitt. Hamb. Geogr. Ges. Bd. 45, 1937.
7. G. Schott, Kaltes Wasser vor der Küste von Venezuela. — Ann. d. Hydrographie. Bd. 59, 1931.
W. Köppen, Grundriß der Klimakunde. 2. Aufl. - Berlin, Leipzig 1931, S. 159.
8. Nach Beobachtungen von C. Troll (mündliche Mitteilung) vorwiegend Bestände von *Cavanillesia*, ähnlich wie am Westabhang der Sierra Nevada de Santa Marta.
9. P. P. v. Bauer, NW-Amazonien. Ein Beitrag zur Geographie Äquatorial-Amerikas. — Diss. Brünn 1910.
10. F. B. Notestein und R. E. King, The Sra. Nevada de Cocuy. — Geogr. Review 1932, S. 423—430.
11. K. Knoch, Klimakunde von Südamerika. — Köppen-Geiger, Handbuch d. Klimatologie, Bd. 2.
12. Z. B.: F. M. Chapman, The Distribution of Bird Life in Colombia. — Bull. Amer. Museum of Nat. Hist. New York, Bd. 36, 1917, und M. v. Thielmann, Vier Wege durch Amerika. — Leipzig 1879.
13. Anales del Observatorio Nacional de San Bartolomé en los Andes colombianos. — Bogotá, 1927.
14. L. H. Osorio, Estudios meteorologicos de Colombia 1931—1935. — Bogotá.
15. B. Franze, Die Niederschlagsverhältnisse in Südamerika. — Peterm. Mitt. Erg.-Heft 193, 1927.
16. E. Aubert de la Rue, Une Expédition aux Yurumangui et au Naya, fleuves de la Cordillere Occidentale des Andes de Colombie. — La Géographie Bd. 61, 1934, S. 17—33 und 117—128.
17. K. Schneider-Carius, Klimazonen und Vegetationsgürtel in tropischen und subtropischen Gebirgen. — Erdkunde Bd. 2, 1948, S. 303 ff.
18. Göbel, Die Vegetation der venezolanischen Páramos. — Pflanzenbiologische Schilderungen II. Marburg 1891.
L. Diels, Die Páramos der äquatorialen Hochanden. — Sitz.-Ber. Pr. Ak. Wiss. Math.-phys. Kl. Berlin 1934.
R. Espinoza, Ökologische Studien über Kordillerenpflanzen. — Diss. Jena 1932.
19. A. Wagner, Hangwind — Ausgleichströmung — Berg- u. Talwind. — Meteor. Z. Bd. 49, 1932.
—, Neue Theorie des Berg- und Talwindes. — Ebenda.
—, Gibt es im Gebirge eine Höhenzone maximalen Niederschlages? — Gerl. Beitr. z. Geophys. Bd. 50, 1937.
—, Theorie und Beobachtung der periodischen Gebirgswinde. — Gerl. Beitr. z. Geophys. Bd. 52, 1938.

20. C. T r o l l, Die Cordillera Real. — Z. Ges. Erdk. Berlin 1929.
—, Die zentralen Anden. — Z. Ges. Erdk. Sonderbd. (100-Jahr-Feier) 1929,
S. 112 ff.
21. Anales del Observatorio Nacional de San Bartolomé en los Andes colombianos. — Bogotá, alljährlich.
22. Boletín de Agricultura (Monatshefte). — Bogotá 1931—33.
23. Dasselbe, Suplemento de Meteorología. — Bogotá 1934. (Enthält Monatsmittel verschiedener Stationen von Jan. 1933 — Juni 1934.)
24. L. H. O s o r i o, Anuario meteorológico. Suplemento al la Revista „Agricultura“. — Bogotá 1937. (Enthält Werte von Juli 1934 — Juni 1937.)
25. Anuario General de Estadística en Colombia. — Bogotá, alljährl. (Die letzten Jahrbände enthalten Klimawerte zahlreicher Orte seit 1931.)
26. S. S a r a s o l a, Noticia del Nuevo Observatorio con algunos datos sobre la climatología y el magnetismo de Colombia. — Notas geofis. y meteorol. publ. p. el Observatorio Nacional de San Bartolomé, Nr. 1. Bogotá 1924.
27. Memoria detallada de los estudios del Río Magdalena .. — Bogotá 1926 (Maschinenschr. auch auf deutsch).
28. Nach Aufzeichnungen von C. T r o l l.

Die Verteilung der mittleren Lufttemperatur in Kolumbien

Von

R. Schröder

Mit einer Karte

Die kartographische Darstellung der mittleren Temperaturverteilung in Kolumbien stößt im allgemeinen auf größere Schwierigkeiten als in den meisten anderen Ländern. Obwohl Kolumbien mit seiner ganzen Fläche der tropischen Zone zugehört, so reicht es doch, bei Einbeziehen der Höhenlage weiter Teile, über alle Klimazonen im Sinne der Köppenschen Klassifikation. Und heute ist es schon möglich, in wenigen Stunden, vom ewigen Frost in das feuchtheiße Urwaldklima zu gelangen, eine Tatsache, wie sie in dieser typischen Form sonst kaum an einem anderen Punkt der Erde wieder zu finden ist (Nevado del Ruiz 5400 m — Arauca im Caucaí 880 m, Luftlinie nur 60 km).

Da von den Klimaelementen in dieser Darstellung nur die Luftwärme erscheint, so ist es an sich gleichgültig, ob die Einteilung in Klimazonen nach Köppen oder die schon von Köppen selbst vorgeschlagene Erweiterung dieser Klassifikation aus der Horizontalen in die Höhenabhängigkeit, benutzt wird. Es müßten also auf kürzeste Entfernungen Temperaturregengesätze gezeigt werden, die zwischen mehr als 30 Graden differieren. Diese Aufgabe, die Isothermendarstellung auf kleinem Raum, dürfte wohl erst in einigen Jahren gelöst werden können, wenn neben der genauen Landesaufnahme auch die klimatologischen Beobachtungsmethoden verbessert und die Stationen beträchtlich vermehrt würden.

Aber ebenso wichtig wie der notwendige Ausbau des Beobachtungsnetzes wäre ein Verbessern der Methode der Temperatur- und überhaupt der Klimabeobachtung. Während z. B. in Deutschland die Maximal- und Minimaltemperaturen zur genauen Erfassung des Temperaturganges dienen und die eigentliche Mitteltemperatur aus dem arithmetischen Mittel von drei Beobachtungen gewonnen wird, wobei man dann den Abendtermin verdoppelt und die Summe durch vier teilt, ist es in den tropischen Ländern Amerikas üblich, als Mitteltemperatur die durch zwei geteilte Summe des Temperaturmaximums und -minimums zu nehmen, ein Verfahren, das in den regenreichen Tropenklimate zu Fehlern bis zu 1 Grad C und darüber führen kann^{1), 2)}.

Die geringe Jahresschwankung hebt aber hingegen wieder eine Unregelmäßigkeit in der verschiedenen zeitlichen Dauer der Beobachtungen praktisch auf.

Das Beobachtungsnetz ist äußerst weitmaschig und die einzelnen Stationen sind recht ungleich verteilt, eine Tatsache, die bei einer genauen Erfassung der Niederschlagsverteilung noch viel schwerer ins Gewicht fallen wird. Aus diesem Grund ist es auch praktisch unmöglich, eine Re-

¹⁾ Hann-Siring, Lehrb. d. Meteorologie. 5. Aufl. Lpzg. I. Bd. S. 144.

²⁾ United States Department of Agriculture: Yearbook of Agriculture, Climate and Man. Washington 1941. S. 690.

duktion der Temperatur von verschiedenen Stationen auf gleiche Periode vorzunehmen.

Zu allem Übelstand wird das, von den verschiedenen Erdöl- und Fluggesellschaften gesammelte, zum Teil recht gute Beobachtungsmaterial, in vielen Fällen als nur für den internen Gebrauch angesehen und fällt daher für eine Verwertung vorläufig aus. Daneben finden sich dann vielfach in Reiseführern, Ortsbeschreibungen und an Bahnhöfen, Temperatur- und Niederschlagsangaben unkontrollierbarer Herkunft, die aber trotzdem, bei dem Mangel an Beobachtungen, in einer allgemeinen Temperaturübersicht, unter gewissen Bedingungen, als brauchbar anzusehen sind.

Aus allen diesen Gründen genügt eine Abgrenzung der Isothermen, nach Stufenwerten von 2- zu 2-Graden, durchaus der zur Zeit erreichbaren wissenschaftlichen Genauigkeit.

Im Osten und Süden Kolumbiens, etwa von der Linie ostwärts des Putumayohafens Puerto Asis, bis ungefähr Arauca an der Grenze nach Venezuela, fehlen zusammenhängende Beobachtungen vollkommen. Lediglich von Leticia am Amazonas wird eine Mitteltemperatur von 29 Grad angegeben. Es wäre aber falsch, diesen einen, unsicheren Wert, als Temperaturstandard für dieses riesige Gebiet ansehen zu wollen. Leticia liegt im feuchtheißen Urwaldklima Inneramazoniens, während die Llanos des Ostens ein typisches Savannenklima aufweisen. Wir werden daher wohl nicht fehlgehen, wenn wir für diesen Teil Kolumbiens, der ungefähr ein Drittel ausmacht, die von *Meinardus* zuletzt errechnete Mitteltemperatur zwischen 26,2° für den Äquator und 26,7 für die Breite von 10° N einsetzen³⁾.

Die Temperaturverteilung im übrigen Gebiet ist nun, wie auch anderswo, keineswegs lediglich eine Funktion der Meereshöhe, sondern die Lage der Isothermen läßt sich aus der Gesamtwirkung der Höhenlage, der allgemeinen Luftzirkulation, der Orographie, der örtlichen und zeitlichen Niederschlagsverteilung und — für Kolumbien — zum geringen Teil der Ozeanität erklären. Erst von ungefähr 1000 m Erhebung ab, dominiert die Höhenlage bei der Temperaturverteilung.

Auf der Karte fallen sofort die kühlen Gebiete der Zentral- und Ostkordillere, sowie der Sierra Nevada de Santa Marta, auf, unterbrochen von den Wärmeinseln des Magdalenagrabens. In der, durch den Cauca-graben von der Zentralkordillere getrennten, Westkordillere erreichen die Temperaturen im allgemeinen nicht mehr diese Extreme. Von der Küstenkordillere sind weder genaue Höhen noch irgendwelche Temperaturen bekannt.

Ferner geht aus der Karte hervor, daß die pazifische Küste Kolumbiens im Mittel um ein Geringes kühler ist als die karibische. Nur in der Atrato-San Juan-Senke haben wir annähernd die gleiche Temperatur wie im Gebiet der Magdalenamündung. Diese, für ein tropisches Land immerhin beträchtliche Temperaturdifferenz, dürfte in den großen Niederschlägen der Westküste⁴⁾, in den höheren Temperaturen des karibischen Meeres und

³⁾ W. *Meinardus*, Neue Mitteltemperaturen der höheren südlichen Breiten. Nachrichten Ges. Wiss. Göttingen, Math.-Phys. Kl. 1925, zitiert n. *Knoch*, Handb. der Klimatologie, *Hann-Knoch*, 4. Aufl.

⁴⁾ K. *Knoch*, Über die Tagessummen des Niederschlags im regenreichen Gebiet am Westhang der Kordillieren von Kolumbien. *Gerlands Beitr. Geophys.* Bd. 32, Lpzg. 1931.

schließlich noch in der jahreszeitlichen Verschiebung des Passats zu suchen sein. Einen genauen Aufschluß würden Isonephendarstellungen ergeben. Da jedoch vorerst nur vier Stationen in Kolumbien die Wolkenbedeckung beobachten⁵⁾, so ist dieser Weg bis auf weiteres ungangbar, zumal noch diese vier Beobachtungsstellen alle im Inland liegen.

Das „heiße Land“ des unteren Magdalena ist in der Hauptsache auf die Leewirkung der Sierra Nevada de Santa Marta zurückzuführen, die bei einer absoluten und relativen Höhe von fast 6000 m dem Passat eine unübersteigbare Mauer entgegenstellt. Aber auch hier macht sich vorerst noch der Mangel an Wolkenbeobachtungen und genauen Feuchtwerten bemerkbar. Tatsache ist jedenfalls, daß diese hohe Temperatur vom Nordeuropäer sehr gut vertragen wird und, durch die geringe Luftfeuchtigkeit, auf das physiologische Temperaturogefühl weit günstiger anspricht, als an der gesamten Westküste.

Zwei andere, kleinere Gebiete mit Temperaturen um 30° liegen im semiariden Gebiet der Halbinsel Goajira und lassen sich ebenfalls nach ihrer Entstehung leicht erklären. Schwieriger ist eine Erklärung der Hitzeinsel um Loric. Wenn auch der Golf von Darién als flacher, weit ins Land greifender Meeresteil, eine sehr hohe Wassertemperatur haben dürfte, so wird doch die Temperatur des Wassers niedriger sein als die des Landes. Und der auch an dieser Küste einsetzende Seewind wird im allgemeinen die Temperatur etwas niedriger halten, als weiter im Inland. Wie schon früher erwähnt, kann auch hier ohne genauere Unterlagen kein abschließendes Urteil gefällt werden.

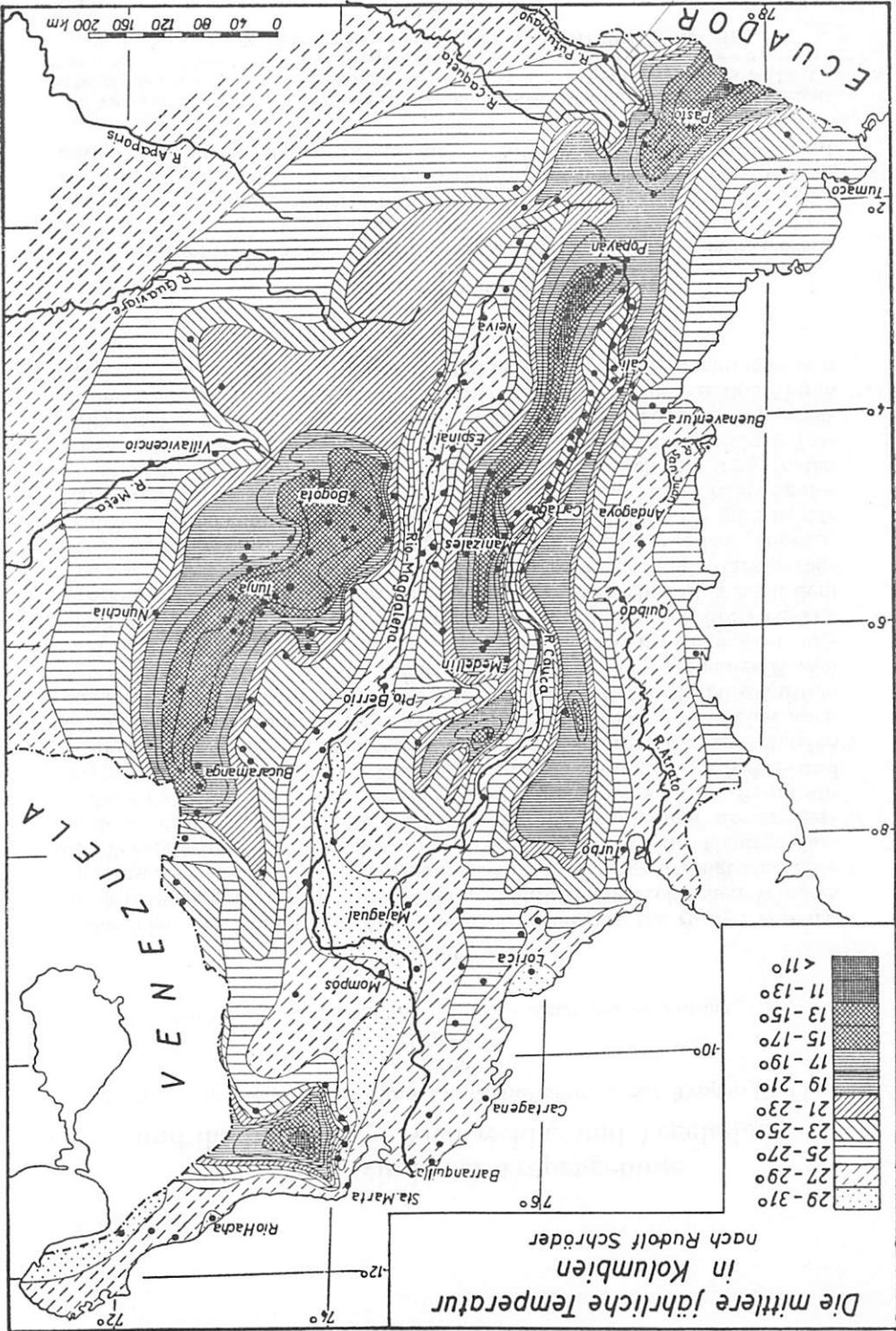
Der heißeste Teil Kolumbiens, am mittleren Magdalena, um Giradot, 325 m, 31,8° C, der wärmsten Stadt der Republik, ist durch die Trockenheit und das Fehlen einer schützenden Wolkendecke untertags bedingt, während gerade in der Nacht Wolkenbildung starke Ausstrahlung verhindert.

An einigen, besonders einstrahlungsgünstig gelegenen Stellen, so bei Cisnero (Antioquia) liegen die Isothermen im allgemeinen höher als im Mittel. Diese Gebiete mit „orographischen“ Isothermen sind aber noch viel zu unbekannt, als daß sie in eine Karte diesen Maßstabs eingezeichnet werden können. Desgleichen werden viele Teile der Kordilleren andere Temperaturmittel als die gezeichneten, generalisierten, aufweisen. Es erscheint aber günstiger, mit den wenigen vorhandenen Werten zu arbeiten, als durch Rechnung neue aufzustellen, die dann später einer Korrektur bedürfen.

⁵⁾ Die Wolkenbeobachtungen der Luftverkehrsgesellschaften sind nicht zugänglich!

Literatur:

- Anuario Meteorológico 1944. Republica de Colombia, Ministerio de la Economía Nacional, Departamento de Irrigación.
Resumen de la estación Meteorologica del Colegio de Cristo, Manizales 1947.
Columbia. Organo de la Contraloria General de la República, año I, Nro. 8/9.
Map of Hispanic America 1 : 1 000 000, American Geographical Society, New York.
Südamerika, Nordwestblatt, 1 : 4 000 000 Justus Perthes Gotha.
Mitteilungen de la Estacion Meteorologica, Palmira/Valle.



Die mittlere jährliche Temperatur
 in Kolumbien
 nach Rudolf Schröder

- $< 11^{\circ}$
- 11 - 13 $^{\circ}$
- 13 - 15 $^{\circ}$
- 15 - 17 $^{\circ}$
- 17 - 19 $^{\circ}$
- 19 - 21 $^{\circ}$
- 21 - 23 $^{\circ}$
- 23 - 25 $^{\circ}$
- 25 - 27 $^{\circ}$
- 27 - 29 $^{\circ}$
- 29 - 31 $^{\circ}$

0 40 80 120 160 200 km

VENEZUELA

ECUADOR

Die Lokalwinde der Tropengebirge und ihr Einfluß auf Niederschlag und Vegetation

(Studien zur Vegetations- und Landschaftskunde der Tropen III*)

von

C. T r o l l.

Mit 12 Abbildungen im Text und einer Abbildung im Anhang.

Vorbemerkung.

Die folgenden Seiten sind Erscheinungen gewidmet, die zu den Wesensmerkmalen tropischer Gebirge gehören, nämlich tageszeitlichen Winden, die entweder erst durch das Vorhandensein der Gebirge bedingt sind oder die Veränderungen der allgemeinen Zirkulation durch die Gebirge darstellen. Sie tragen durch Verstärkung oder Abschwächung der Niederschläge dazu bei, die Vegetation der Gebirge auch auf kleinem Raum abwechslungsreich zu gestalten. Dazu gehören Erscheinungen der Nebel- und Wolkenbildung an den Abhängen tropischer Gebirge, die an scharfen Klimagrenzen in trockene Gebirgsteile übergehen. Dazu gehört aber auch das gesetzmäßige Auftreten von Trockeninseln in tiefen Taleinschnitten. Auf solche aride Täler inmitten feuchter Gebirge bin ich auf meinen Reisen in den tropischen Gebirgen Südamerikas und Afrikas immer wieder aufmerksam geworden, zum ersten Male in den Kordilleren von Bolivien. Die Trockeninseln können nicht durch einfache Regenabschirmung nach dem Prinzip von Luv und Lee erklärt werden, sondern müssen mit starken täglichen Ausgleichswinden in Zusammenhang gebracht werden. Die zugrundeliegenden tageszeitlichen Winde und Wolkenbildungen sind in der Landschaft ohne weiteres zu beobachten. Für eine endgültige Klärung des Phänomens wäre es aber nötig, in bestimmten räumlich eng umgrenzten und durch die meteorologischen Stationsbeobachtungen nicht erfaßten Tal-landschaften noch besondere Messungen über mehrere Tage hinweg anzustellen, was für verschiedene, auch leicht zugängliche Gebiete in den Anden Südamerikas und in den Gebirgen Afrikas zukünftigen Forschungsreisen besonders empfohlen sei.

1. Die Tageszeitenklimate der Tropen.

Die tropischen Klimate, auch die der tropischen Gebirge, sind, worauf der Verfasser in früheren Arbeiten¹⁾ mehrfach hingewiesen hat, im Gegensatz zu den Klimaten höherer Breiten *thermische Tageszeitenklimate*, d. h. die Jahresschwankungen der Temperatur sind unmerklich oder — soweit es sich um die äußeren Tropen handelt — wohl

*) Vgl. Teil I: T r o l l, C., Wüstensteppen und Nebeloasen im südnubischen Küstengebirge. Zeitsch. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin, 1935, S. 241—281. Teil II: T r o l l, C., Termiten-Savannen. In: Länderkundliche Forschung. Festschrift N o r b e r t K r e b s zur Vollendung des 60. Geburtstages dargebracht. Stuttgart 1936, S. 275—312.

vorhanden und spürbar, aber doch von den viel größeren Tagesschwankungen der Temperatur übertroffen. Es wurde in weiteren Arbeiten gezeigt, daß diese Tageszeitenklimate vielfältige geographische Wirkungen hervorrufen, die Besonderheiten der tropischen Gebirge sind: die Tageszeitengefrorenis der höheren Gebirge, extreme Frostwechselhäufigkeiten in bestimmten Höhenstufen tropischer Hochgebirge²⁾, dadurch bedingte Miniaturformen von Strukturböden oder Frostmusterböden³⁾, tageszeitliche Solifluktion⁴⁾, Besonderheiten im zeitlichen Rhythmus der Schneefälle, der Schneedecken und der Ablation⁵⁾, besondere Lebensformen der tropischen Hochgebirgspflanzen (z. B. Polsterwuchs) und eine unter solchen Bedingungen ganz andere Natur der Höhengrenze des Waldes in den Tropen im Vergleich zu der alpinen Waldgrenze höherer Breiten und der arktischen Waldgrenze⁶⁾.

Innerhalb der Tropen wiederum sind die täglichen Schwankungen der Temperatur in ihrem Betrag nach bekannten Gesetzen abhängig von der Meereshöhe, vom Grad der Bewölkung, von den Geländeformen und von der Bodenbedeckung. Sie sind am größten in den sehr trockenen, strahlungsreichen Hochgebirgen mit geringer oder völlig fehlender Vegetationsbedeckung und zwar in Hochflächen- und Beckenlage. Dort erreichen sowohl die tageszeitliche Einstrahlung als auch die nächtliche Ausstrahlung extreme Werte. Die größten bekannten Tagesschwankungen haben der südliche Altiplano Boliviens bzw. die Hochbecken der Puna de Atacama (Oruro, La Quiaca) aufzuweisen, sehr hohe Werte auch das trockene Hochland von Tibet, das aber bei seiner Lage weit außerhalb der Tropen auch schon viel stärkere jahreszeitliche Temperaturunterschiede hat. Zum Vergleich seien die etwa in gleicher Meereshöhe gelegenen und auch nach dem Grade der Trockenheit vergleichbaren Stationen Oruro (Bolivien) und Leh (Oberes Indostal) aufgeführt.

Geogr. Breite	Meereshöhe	mittl. Jahrestemperatur	Mitteltemperatur d. wärmst. Monats	Mitteltemperatur d. kältest. Monats	Jahresamplitude d. Temperatur	Mittl. period. Tagesschwank.	Mittl. aperiod. Tagesschwank.	Höchstes	Niedrigstes
								Monatsmittel d. aperiodisch. Tagesschwank.	
Oruro 17° 38' Süd	3703 m	8,32°C	11,2° Nov.	+ 4,57° Juli u. Aug.	6,68°	13,08°	13,28°	16,65°	13,3°
Leh 34° 10' Nord	3506 m	4,9° C	16,9° Juli	- 7,7° Januar	24,6°	11,6°	11,78°	9,1°	9,7°

Die starke tageszeitliche Erhitzung, ganz besonders in bodennahen Schichten, erzeugt in den trockenen Hochflächen Südboliviens stärkste alltägliche Luftauflockerungen und konvektive Luftbewegungen. Tromben sind so häufig, daß man in den Mittags- und Nachmittagsstunden, wo immer man steht, jederzeit eine oder mehrere Sandhosen über die Ebene wirbeln sieht. Entsprechend stark sind die Luftspiegelungen, durch die die Berge in größerer Entfernung vom Boden abgehoben erscheinen. Die folgende Nacht bringt wieder so starke Abkühlung, daß in über 4000 m Meereshöhe in jedem Monat des Jahres Frost- und Eisbildung eintreten kann. Die Luftelektrizität ist ungewöhnlich und man kann jederzeit am menschlichen Haare Funkenbildung hervorrufen. In der Puna de Atacama gibt es nächtliche Aufeisbildungen in den Flußbetten, auf die mittägliche Hochwasser folgen, wie sie C a t a l a n o⁷⁾ beschrieben hat. Sie sind ein

Gegenstück zu den winterlichen Aufeisbildungen der sibirischen Flüsse, aber von tageszeitlichem Rhythmus.

2. Die tageszeitlichen Gebirgswinde.

Die starke tageszeitliche Luftauflockerung erzeugt in den tropischen Gebirgen noch eine andere, in der bisherigen Literatur noch kaum hervor gehobene Erscheinung, nämlich einen großräumigen täglichen Luftaus tausch zwischen den Tiefländern und Hochländern, vor allem dort, wo es sich um ausgedehntere Hochplateaus handelt, von einer Stärke, wie man ihn sich in höheren Breiten kaum vorstellen kann. A. W a g n e r⁸⁾ hat die Gebirgswinde, die sich im 24stündigem Rhythmus abspielen und die man früher meist mit dem Sammelnamen Berg- und Talwind schlechtweg be legte, in drei verschiedene Typen aufgeteilt:

a) Die „H a n g w i n d e“, die an isoliert stehenden Bergen und ungegliederten Bergketten tagsüber hangaufwärts, nachts hangabwärts wehen. Sie entstehen durch die Besonnung der Hänge in den Tagesstunden und ihre Abkühlung bei Nacht (F o u r n e t, W e n g e r). Daß sie an den großen Bergkegeln der Tropen und Subtropen, z. B. an den ostafrikanischen Vulkanen, den Vulkanen von Java, am Pic von Teneriffa usw., in besonderer Stärke und Schönheit auftreten, ist bei der großen Tagesschwankung der Temperatur verständlich. Dadurch entsteht der für viele Tropenberge charakteristische Witterungsablauf. In den Tagesstunden kommt es durch den aufsteigenden Wind zur Kondensation und die Berge sind von der Kondensationsgrenze aufwärts vollständig in Wolken gehüllt, während sich nachts mit dem am Hang absteigenden Wind und der Beruhigung der Luft draußen in der freien Atmosphäre ein Wolkenstratus bildet, dessen Oberfläche sich bei Sonnenaufgang dem höher stehenden Beschauer als ein weißes Wolkenmeer darbietet, aus dem inselartig die Berggipfel aufragen. Ich habe diesen täglichen Witterungswechsel an einem idealisierten Tropenberg an anderer Stelle auch zeichnerisch anschaulich zu machen versucht⁹⁾. Durch diese Verhältnisse haben die Ostseiten der Tropenberge über der Grenze der nächtlichen Wolkenbank, die noch dazu in den Morgenstunden stark reflektierend wirkt, einen so viel stärkeren Strahlungsgenuß als die tagsüber durch die Bewölkung gegen die Einstrahlung abgeschirmten Westseiten, daß durch diesen westöstlichen Unterschied der Strahlungsexposition auch ein beträchtlicher Unterschied der Schneegrenzhöhen zwischen West und Ost entstehen kann. Am Gipfel des Pic von Teneriffa, wo ähnliche Wetter-, Wolken- und Strahlungsbedingungen herrschen, hat O. P r a t j e¹⁰⁾ sogar Penitentes-Schnee beobachtet, dessen Zacken nicht wie sonst gegen Mittag und steil, sondern gegen Osten und ganz schräg, fast horizontal geneigt waren. Dieser westöstliche Expositionsunterschied tritt also innerhalb der Wendekreise an die Stelle des aus höheren Breiten allbekanntem nordsüdlichen Expositionsgegensatzes.

b) Die zweite Form der tageszeitlichen Gebirgswinde nennt A. W a g n e r „A u s g l e i c h s w i n d e“ zwischen Tiefebene und großen Hochflächen. Sie bestehen in einem Hin- und Herpendeln der Luftmassen in einer Periode von 24 Stunden. Sie werden auch nach W a g n e r nach der Hannschen Theorie der Berg- und Talwinde erklärt durch die Hebung der Flächen gleichen Druckes über der Ebene gegenüber dem Gebirgshang. Die horizontalen Druckgradienten müssen von unten nach oben zunehmen und

an den Pässen, die vom Gebirgshang gegen die Hochebene führen, die stärkste Wirkung haben. Dies ist bisher immer am Beispiel des Himalaja belegt worden, wo R. Strachey, H. Blanford und J. Eliot in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts den Luftaustausch zwischen der nordindischen Ebene und dem Hochlande von Tibet auf diese Weise erklärt haben. Schon theoretisch müssen an den tropischen Hochplateaus (Bolivianisch-Peruanischer Altiplano, Mexiko, Abessinien) diese Ausgleichwinde besonders kräftig erwartet werden. Es kommt noch hinzu, daß die Hochflächen selbst tagsüber stark erwärmt werden und als „gehobene Heizflächen“ eine weitere Verstärkung des Druckgefälles erzeugen.

c) Es verbleibt dann noch die dritte Form, die eigentlichen Berg- und Talwinde oder Berg- und Talwinde im engeren Sinn, die A. Wagner einschränkt auf tägliche Gebirgswinde in breiten, flachen Tälern, die seitlich von hohen Berghängen begleitet sind (z. B. in den Alpen im Walliser Rhonetal zwischen Genfer See und Brieg, im Inntal, Salzachtal, Drautal, Comer See- und Addatal, Etschtal). Dabei weht ganz besonders im Sommerhalbjahr tagsüber der Wind talaufwärts, nachts talabwärts, während gleichzeitig an den seitlichen Hängen echte Hangwinde dieses System ergänzen. Die Berg- und Talwinde können nach A. Wagner keine Ausgleichsströmungen mit hin- und herpendelnden Luftmassen auf Grund starker, täglicher Luftdruckschwankungen sein, sondern müssen zu einem Zirkulationssystem gehören, bei dem gleichzeitig mit dem Einströmen der Luftmassen in die Täler irgendwo ein rückführender Kompensationsstrom vorhanden ist, ähnlich wie beim Land- und Seewind. Die Luft strömt bei Tage durch den ganzen Talquerschnitt in das Gebirge ein bis etwa zur effektiven Kammhöhe der das Tal begleitenden Bergketten und fließt auf der ganzen Linie der Bergkämme über den Taltrog über und in der Höhe in die Ebene zurück. Umgekehrt geschieht es beim nächtlichen Bergwind. Die seitherigen Fortschritte in der Erforschung und Theorie der tageszeitlichen Winde in den Alpen finden sich bei A. Defant¹¹⁾ zusammengestellt.

3. Die Ausgleichwinde der zentralandinen Hochländer.

Die Ausgleichwinde zwischen Tiefländern und Hochländern sind mit einer besonders großen Regelmäßigkeit und mit deutlich sichtbaren Witterungserscheinungen an den Abhängen und am Rande der tropischen Hochländer entwickelt. Meine eigenen Erfahrungen dazu betreffen die tropischen Anden Boliviens, Perus, Ecuadors und Kolumbiens, das Hochland von Abessinien und die Ostseite Südafrikas.

Der Bolivianisch-Peruanische Altiplano (s. Abb. 1 u. 2), der sich mit einer Breite von 200 bis 250 km in einer Meereshöhe von 3600 bis 4500 m zwischen der West- und Ostkordillere ausdehnt, und nur eine schütterere Vegetation von Punagras und Punagesträuch trägt, unterliegt zu allen Jahreszeiten einer solchen Erhitzung in den Tagesstunden, daß von Westen und Osten die Luft in größtem Maßstab gegen das Hochland angesaugt wird. In den Mittagstunden steigern sich diese Winde zu großer Heftigkeit und wehen dann sturmartig über die Pässe der Kordilleren auf das Hochplateau. Auf der feuchten Nordostseite über dem Tiefland Amazoniens und der Llanos des Mamoré sind die Hänge der Kordilleren vom Rand der Ebene bis in 3500 bis 3700 m Höhe in feuchte Regenwälder ge-

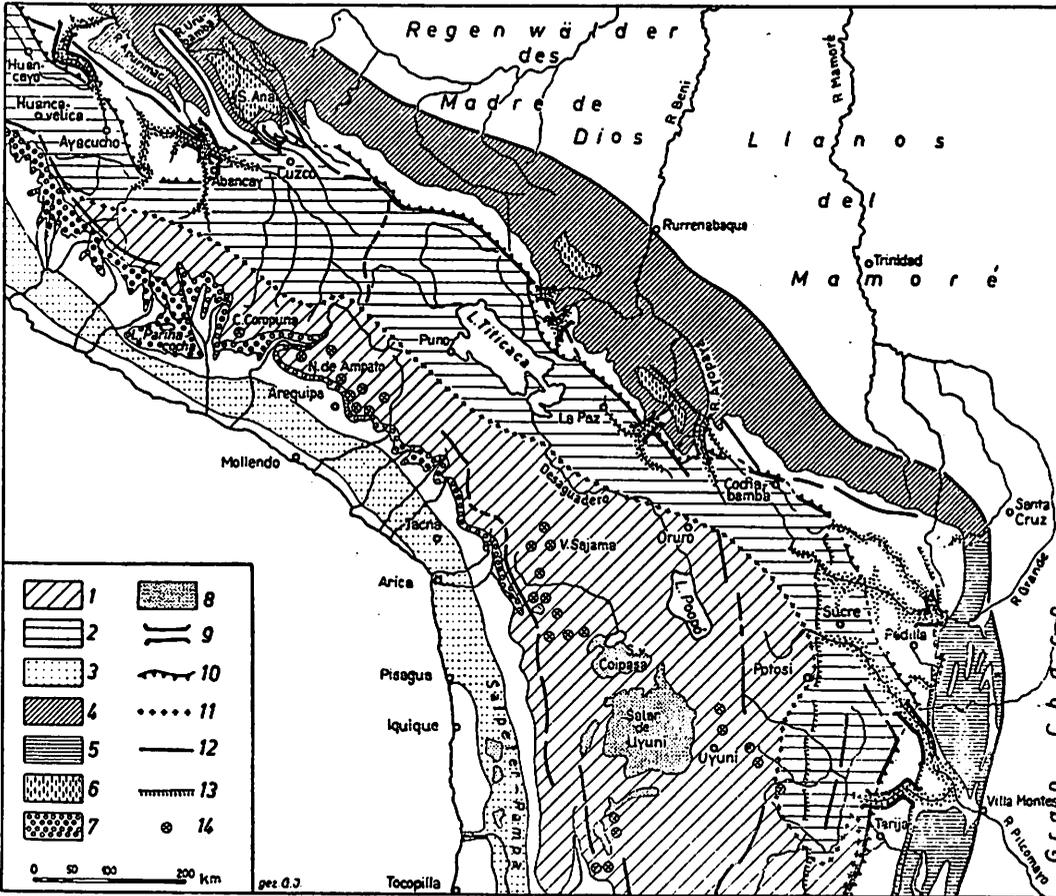


Abb. 1. Die zentralen Anden von Bolivien, Südperu und Nordchile und ihre klimatologische Gliederung (Orig.).

1. Trockenes Hochland (Bereich der Trocken- und Salzpuna). Leitpflanzen Lepidophyllum-Tola, Büschelgras von Festuca orthophylla, Zwergdornsträucher. 2. Mäßig trockenes Hochland (Bereich der Graspuna). 3. Wüstentafeln („Pampas“) der Atacama. 4. Immergrüne Regen- und Nebelwälder der östlichen Andenhänge. 5. Sommergrüne, in der Höhe immergrüne Regenwälder der südostbolivisch-nordwestargentinischen Andenhänge (Bolivisch-tucumanischer Wald). 6. Savanneninseln innerhalb der östlichen Regenwälder („Yungas“). 7. Mesophytischer Gebüschgürtel am Westabfall der trockenen Puna-Anden. 8. Trockenheiße Täler der östlichen Andenabdachung („Tief-Valles“). 9. Durchbruchstrecken dieser Täler im Bereich der tiefsten Zertalung, die als Windpforten östlicher Winde wirken. 10. Westgrenze der östlichen Steigungsregen und Nebel und damit der immerfeuchten Vegetation (orographische Klimascheide). 11. Ostgrenze der Dorn- und Salzpuna. 12. Markante Gebirgszüge und Ostfuß der Anden. 13. Abfall des ostbolivischen Punablockes gegen die Randkettenzone. 14. Isolierte Bergkegel.

hüllt (Yungas-Region). Höher hinauf bis auf den wasserscheidenden Kamm wehen auch in der trockenen Jahreszeit tagsüber regenbringende Winde, die normalerweise auch die Osthänge der Kordillere in Nebel und Wolken hüllen. In den Abendstunden lassen diese Winde nach, nachts kommen sie zum Stillstand und am Morgen bietet sich dem von der Höhe der Kordillere nach Osten blickenden Beschauer das grandiose Schauspiel des in der Höhe des oberen Waldes liegenden Wolkenmeeres dar. Es ist der tropische Nebel- oder Wolkenwald, die sog. Ceja de la Montaña. In den Vormittagsstunden, meist schon um 8 bis 9 Uhr, gerät mit dem Steigen der Sonne das Meer in Wallung und hüllt bis Mittag oder spätestens Nachmittag das ganze Gebirge bis in die Gipfelregionen wieder in Wolken ein. Ich habe früher geschildert, wie sich die Wetter-, Klima- und Vegetationsgrenze auf dem Kamm und der Wasserscheide im einzelnen darbieten¹⁹).

Zwischen der Cordillera Real und der Cordillera de Apolobamba (Abb. 2 im Anhang), wo auf einer Erstreckung von fast 100 km der Kamm der Cordillere auf fast 5000 m erniedrigt und überdies durch mehrere dieser Durchbruchstäler, Quellflüsse des Rio Mapiri-Beni, zerschnitten ist (Cordillera de Muñecas), springt die Wetterscheide weit nach Westen bis zu der etwa 4500 m hohen Wasserscheide östlich des Titicacasees vor. Bis zu dieser Wasserscheide wehen die feuchten östlichen Nebelwinde und werden über dem Kamm sturmartig herübergepeitscht. Während die Winde selbst weiter gegen das Titicacabecken wehen, werden die Wolken auf der Paßhöhe mit dem Beginn des Abstieges schlagartig durch die Verdunstung aufgelöst. So bietet sich dem Auge ein seltsamer Anblick dar: vom Sturm getriebene Wolken, aber eine nach Westen scharf begrenzte Wolkenwand. Hier liegt auch die Grenze der Vegetation zwischen den immerfeuchten Gras- und Gesträuchfluren der östlichen Hänge und den jahreszeitlich ausgedörrten Punasteppen des inneren Hochlandes. In den östlichen Tälern sieht man nachts und frühmorgens den Berghängen entlang eine mächtige Wolkenbank liegen, Ausläufer des großen einheitlichen Nebelmeeres der Yungas-Region. Ihr entspricht die Zone der Nebelwälder und Nebelgebüsche, die sich unter ihrem Schutz bis zur Wetterscheide vorschieben.

Anders verhält sich die Wetterscheide weiter südöstlich, zwischen der Cordillera Real und der Cordillera de Quimza Cruz, deren ebenfalls gletschertragende Hochgipfel nur durch die gewaltige Schlucht des La Paz-Tales getrennt sind, die von Gipfel zu Gipfel gemessen, 25 km Breite hat. Ihre Sohle liegt mit 1200 m Meereshöhe 5200 m unter dem Gipfel des Illimani, der sich in einem einzigen Berghang unmittelbar aus der Schlucht erhebt. Diese schmale Pforte, die ein „Windgap“ ersten Ranges darstellt, läßt aber die östliche Feuchtigkeit nicht weiter binnenwärts vordringen. An beiden Seiten der Schlucht in über 3000 m Höhe, wo über dem trockenen Talgrund sich gewöhnlich noch schmale Wolkenbänke breiten, keilt auch der in ihrem Schutz gedeihende hygrophile Nebelwald binnenwärts aus. Er macht dem mesophytischen Dornbusch der inneren Andentäler Platz und auf der wasserscheidenden Serrania de Sicasis ist nichts mehr von der östlichen Feuchtigkeit zu verspüren. Über der La Paz-Schlucht geht auch die feuchte Hochandenvegetation der Ostseiten in die trockenere Punavegetation des Binnenhochlandes über (Abb. 2 im Anhang).

Auch von der Seite des Pazifischen Ozeans und der Küstenwüste der Atacama her wird im tageszeitlichen Rhythmus die Luft über den Kamm

und die Pässe der bolivisch-chilenischen Grenzkordillere angesogen. Da dort auch das Tiefland trocken ist und die Luvseite zur Wüste Atacama abfällt, ist der Gegensatz der Vegetation viel geringer. In der Cordillera de los Andes zwischen $18\frac{1}{2}$ und $19\frac{1}{2}$ ° südlicher Breite zwischen Arica und dem Vulkan Sajama, die ich in den Monaten März und April 1927 bereiste, konnte ich die tageszeitlichen Winde in ihrer ganzen Stärke erleben. Über die Paßhöhen in 4400 bis 4500 m wehte untertags ein eisiger, sturmartiger Westwind in das Hochland herein. Als wir in den Tagen 5. bis 12. März 1927 von Osten kommend uns vom Becken von Chungará über den oberen Rio Lauca dem Paß von Chapiquiña näherten, stand über dem wasserscheidenden Hauptkamm eine Wolkenmauer, die — obwohl von starken Westwinden getrieben — sich nicht über das Hochland herüberschieben konnte. Die auf dem inneren Hochland stehenden Riesenvulkane waren bis etwa 5000 m herab in ein regenzeitliches Schneekleid gehüllt und ragten in den klaren, zeitweise von Regenschauern unterbrochenen Hochlandhimmel. Mit der Annäherung an den Paß war es augenfällig, daß in seinem Bereich auch die normale Vegetation dieser Höhen, die Ichu-Steppen von *Festuca orthophylla*, die Tolaheide und die Krüppelgehölze der Queñua (*Polylepis tomentella*), völlig ersetzt waren von einer reinen Hartpolsterflur riesiger Llaretas (*Azorella*). Die Paßwinde scheinen also sehr regelmäßig zu sein. Die Wasserscheide ist dort eine Klima- und Wetterscheide, aber auch eine Vegetations- und Landschaftsscheide. Während auf der Altiplanoseite von dem weitgespannten Hochbecken riesige flache Schutthalden zu den Bergen emporführen, fällt die Kordillere nach Westen steil gegen die Quelltäler des Rio Azapa ab. Beim Abstieg durchschreitet man von 4000 m ab eine Tolazone, bei 3800 m einen Gehölzgürtel von *Polylepis* und von 3800 m abwärts bis etwa 3500 m eine üppig blühende und duftende Sierra-Vegetation von immergrünen, von Kolibris umschwirrten Sträuchern. Nach 200 km langer Reise über das öde Hochland fühlt man sich plötzlich, wenn auch nur für kurze Zeit, in die gesegneten ostandinen Tallandschaften versetzt. Zwischen der Tieflandswüste und der Hochlandspuna reihen sich in dem feuchten Höhengürtel des Gebirgshanges Siedlung an Siedlung und Felder mit Alfalfa, Mais, Kartoffeln und Pferdebohnen. Die regenfeuchte Zone ist auf dem Höhengürtel von etwa 3000 m aufwärts beschränkt. Nach Westen blicken wir, aus den Wolken hervortretend, über die kahlen Randberge der Atacama und die Wüstentafeln hinweg zum Stillen Ozean hinaus. Allmorgendlich ist der Himmel wolkenlos, ab 9 Uhr bildet sich über dem Kordillerenkamm eine Bewölkung aus, die untertags regendrohend wird und sich auch über die Täler nach Westen vorschiebt, aber nachmittags mit Sturmesgewalt über den Kamm der Kordillere gegen den Altiplano getrieben wird. Die starken Sommerregen dieser Höhenzone sind offenbar ein Produkt des täglichen Luftaustausches zwischen Tiefland und Hochland, es sind tageszeitliche Steigungsregen und sie sind um so stärker, je steiler der Andenabfall ist. Die sturmartigen Nachmittagswinde auf dem Kordillerenkamm haben wir in gleicher Wucht sechs Wochen später in der zweiten Aprilhälfte 1927 auch 50 km weiter südlich auf dem Paß von Orcotuncu (4470 m) erlebt. Auch dort war auf dem windgepeitschten Paß die normale Punavegetation weithin von ausgedehnten Polsterfluren der Llareta ersetzt. An der unter diesen Stürmen offenbar leidenden Vegetation der Graspolster ist die Richtung der Winde deutlich abzulesen. So-

wohl Iru-Ichu (*Festuca orthophylla*) als auch ein kleineres, „Cebadilla“ genanntes Büschelgras bilden natürlicherweise infolge eines radialen Wachstums ringförmige Rasen, die im Alter bis 2 m Durchmesser erreichen können. Durch die starke Windwirkung (Sandgebläse, Eisnadelbildung, Austrocknung) sterben die Rasen an der dem Winde zugekehrten Seite ab und bilden sichelförmige und bogenförmige Gebilde, die ich als Windsichelrasen bezeichnet und früher abgebildet habe¹³). Auch an den Frostböden dieser eisigen Höhen machte ich wie auch anderwärts, z. B. auf dem Drakensberg-Plateau Südafrikas die Beobachtung, daß der Wind die Richtung der Eisnadelbildung im Boden regelt. Ganz unabhängig von der Bodenneigung waren feine parallele Streifen von Auffriererde immer in der Hauptwindrichtung von West nach Ost vorhanden. Alles spricht dafür, daß diese starken Ausgleichswinde einen großen Teil des Jahres, wenn nicht das ganze Jahr über wehen.

Daß diese Winde noch weit in den Altiplano hinein wirksam sind, scheinen die Barchane des südwestlichen Altiplano anzudeuten. In der Ebene zwischen dem Salar von Coipasa und dem Vulkan Tata Sabaya, etwa 40 km östlich des wasserscheidenden Kammes, zeigen diese Barchane westliche Winde an, die aus der allgemeinen Zirkulation keine Erklärung finden. Es wäre eine dankbare Aufgabe, die Aufwehungsrichtung der ausgedehnten Barchanfelder in diesem Gebiete mit dem Luftbild zu erkunden. Einige Breitengrade weiter südlich in der eigentlichen Puna de Atacama scheinen die Verhältnisse ganz ähnlich wie in Westbolivien zu liegen. I. B o w m a n¹⁴), der die Puna von Poma in Argentinien nach San Pedro de Atacama in Nordchile im Winter (Juni) gequert hat, beschreibt diese Winde eindrucksvoll. „Tagsüber fegen Wirbelwinde über die Fußhänge und Salare und heben ihre großen gelblichweißen Säulen von Staub zu Höhen von tausend Fuß und mehr. Überall sind Zeugnisse des Windes in langen Rücken von windverfrachtetem Material, Steinpflaster und Büschelgras „streaming down-wind“. Den ganzen Tag weht der Wind mit großer Ausdauer und allgemein mit großer Geschwindigkeit. Er legt sich bei Sonnenuntergang und beginnt gewöhnlich erst wieder am frühen Vormittag des nächsten Tages. Die Nächte sind fast immer wolkenlos mit einem strahlenden Himmel“ . . . Die Route über die Westkordillere „brachte uns genau dem heftigen West- und Nordwestwind entgegen, der das auffallendste Wintermerkmal der Meteorologie dieser Gegend ist. Wir hatten a n d a u e r n d e n heftigen Wind bei Tag und eine Temperatur, die sich von fast 0° Fahrenheit am Morgen bis wenig über dem Gefrierpunkt bei Tag bewegte“.

Auch meine sonstigen Erfahrungen in den bolivianischen Anden deuten darauf hin, daß tägliche Ausgleichswinde größten Stils von allen Seiten, entlang der ganzen Westseite von der Küstenwüste her, von Nordosten aus dem Tiefland des Mamoré und von Südosten aus dem Gran Chaco auf die Hochplateaus der zentralen Anden gerichtet sind. Am Westabfall der Anden scheinen diese Ausgleichswinde in ein Zirkulationssystem zu gehören, das bereits an der Küste beginnt. An der ganzen chilenisch-peruanischen Wüstenküste herrschen Land- und Seewinde, als „Terraes“ und „Virazonas“ bezeichnet. Die Beobachtungen über sie hat I. B o w m a n¹⁵) zusammenfassend dargestellt. Die sehr kräftigen Seewinde erzeugen dort, wo sie von der See gegen die steile Küstenkette wehen, die bekannte Garua

und die Loma-Vegetation. Da hinter der Küstenkette die Hochflächen der Pampas in über 1000 m Höhe liegen, stellen die Seewinde auch gleichzeitig Ausgleichswinde zwischen der Küste und diesen wüstenhaften, tagsüber erhitzten Pampas dar. Die Erscheinung der gegen den Kamm der Küstenkette getriebenen Nebelwolken und den schroffen Gegensatz zu der Aridität auf der Innenseite des Gebirges hat wiederum B o w m a n anschaulich geschildert und in Profilen dargestellt. "Long, slender cloud filaments project east-ward over the margin of the desert. They are traveling rapidly but they never advance far over the hot wastes, for their eastern margins are constantly undergoing evaporation". Aber auf dem Kamm der Küstenkette sind diese Winde noch nicht zu Ende. Sie wehen auch über die Wüstenpampa hinweg und erzeugen z. B. in der Pampa von La Joya zwischen Mollendo und Arequipa die dortigen Barchanfelder. Nach den Beobachtungen des Harvard Astronomical Observatory¹⁶⁾ waren dort 95% aller Winde von einer Geschwindigkeit von 10 Meilen/Std. südliche Winde. Sie bewegten die Dünen mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 1,4 Inch/Tag im Winter, von 2,7 Inch im Sommer. Aber die Winde wehen als Tageszeitenwinde offenbar auch noch weiter am Westhang der Kordillere empor. Beobachtungen von Little am Ostrand der Wüstenpampa von Januar bis März im Rahmen der Yale Peruvian Expedition 1912/13 ergaben regelmäßige starke Tageswinde, die um 10 Uhr vormittags von Süden einsetzen und sich über Mittag als Südwestwinde immer mehr bis etwa 4 Uhr nachmittags verstärken und zum Abend wieder verschwinden. Viel weiter südlich an der Bahn Antofagasta-Calama benutzen nach einer Notiz und einer Abbildung von B o w m a n¹⁷⁾ die Eisenbahnarbeiter Segeldraisinen, mit denen sie unter Ausnutzung des regelmäßigen Nachmittagswindes zur Stadt Calama zurückkehren. Dies ist in einer Entfernung von 140 km von der Küste am Fuß der Cordillera de Los Andes der Fall. Es liegt infolgedessen sehr nahe, daß die gleichen Winde als Ausgleichswinde von der Küste bis über den Kamm der Hauptkordillere zu den Hochflächen hinaufführen, wobei auf der Westseite noch zu untersuchen wäre, wie sich der jahreszeitliche Wechsel, der von der Küstenregion gut bekannt ist, in den hohen Teilen des Gebirgshanges abspielt. In den höheren Teilen haben wir im Gegensatz zu den Küstenbergen mit ihren winterlichen Garua-Niederschlägen sommerliche Niederschläge. Diese nehmen wie auch die der ganzen Kordillere nach Norden an Intensität zu. Von etwa 18° 40' an nordwärts, im Quellgebiet des bei Arica mündenden Rio Azapa gibt es an den steil abfallenden Westhängen zwischen der Wüstenpampa am Gebirgsfuß und der Trockenpuna des Altiplano gut beregnete und dichter besiedelte Tallandschaften, von einem Klima-, Vegetations-, Landschafts- und Wirtschaftscharakter wie erst wieder am allgemein feuchteren Ostrand des Altiplano oder in Mittelperu („Cabezeras de Valle“). Diese gegenüber dem zonalen Klimacharakter wesentlich verstärkte Feuchtigkeit scheint auf die Steigungsregen zurückzugehen, die von den Ausgleichswinden der Westabdachung gesendet werden. Schon A. Hettner¹⁸⁾, der ja ausgedehnte Reisen in Kolumbien, Südperu und Nordbolivien unternommen hat, hat klar erkannt, daß in Südperu am Ostabhang der Anden und auf dem Kamm der Ostkordillere bei Tag östliche und in der Westkordillere westliche Winde wehen und daß diese als aufsteigende Tageswinde anzusehen seien, weil sie ihre größte Kraft in den Nachmittagsstunden haben. Von jahreszeitlichen Veränderungen habe er nichts gehört.

Hettner irrt aber offensichtlich, wenn er weiter schreibt: „Auf die Niederschlagsverhältnisse haben diese örtlichen Winde merkwürdigerweise nur geringen Einfluß“.

4. Die Trockeninseln und Windpforten des Andenabfalles von Nordostbolivien.

Entlang dem ganzen Ostrand der peruanisch-bolivischen Anden und noch weiter im nordwestlichen Argentinien am Rande der Puna de Atacama läßt sich eine scharfe Linie verfolgen, bis zu der die tageszeitlich gegen die Hochregion gerichteten östlichen Wolken und Niederschläge vordringen (vgl. Abb. 1). Dort haben sich aber andererseits die großen ostandinen Talsysteme, die zum Amazonas und La Plata-System entwässern, so tief in den Andenkörper eingeschnitten, daß die größten Unterschiede der Höhe und der Exposition und in deren Folge eine äußerst komplizierte horizontale und vertikale Verteilung der Klimate und Vegetationsregionen zustandekommen. Während sich in der Höhe unter der Wirkung der Steigungsfeuchtigkeit Nebelwälder und feuchte Matten westwärts bis zur Klimascheide vorschieben können, wird in den Talgründen das Klima um so trockener, je tiefer sie sich einschneiden, bis schließlich mit der Annäherung an den Gebirgsrand das feuchte Klima auch von den Talgründen Besitz ergreift.

Weitaus am deutlichsten sind die Verhältnisse in den tiefen Durchbruchstätern durch die Hauptkordillere des nordöstlichen Bolivien (vgl. Abb. 2). Mehrere Quellflüsse des Rio Beni haben sich, wie schon oben ausgeführt, durch den Hauptkamm der Kordillere hindurchgeschnitten, nämlich der Rio de la Paz zwischen dem Illimani und der Cordillera de Quimzacruz, der Rio Sorata-Consata-Llica zwischen dem Nordende der Cordillera Real und den Cordilleren von Muñecas, und der Rio Camata-Charrassani zwischen diesen Kordilleren und der Kordillere von Apolobamba^o). Bei der Bereisung dieser Täler konnte ich feststellen, daß dort, wo sie am tiefsten eingeschnitten sind, in den Strecken der eigentlichen Durchbrüche durch die Hauptkordilleren, die Trockenheit jeweils am größten ist. In zwei Tälern im La Paz-Tal unter dem Illimani und im Consata-Tal unterhalb Sorata steigert sie sich zur Wüstenhaftigkeit. Aber damit nicht genug. Mit dieser Trockenheit ist in allen drei Tälern ein tageszeitlicher Wind von beispielloser Stärke gepaart.

Im Tal des Rio de La Paz ist dieser mittägliche Sturmwind schon von früheren Reisenden, H o e k, H a u t h a l und H e r z o g beobachtet worden¹⁹). Dramatisch schildert H e r z o g das Erlebnis von einer Reise im September 1911 von La Paz in die Quimza Cruz-Kordillere. „Je weiter man abwärts kommt, desto großartiger wird die Felsschlucht, desto unheimlicher aber auch, wenn der Fluß hoch angeschwollen seinen Brei von Lehm und

¹⁹) Auf der beiliegenden Karte (Abb. 2 im Anhang) habe ich erstmals die Kordilleren von Muñecas mit ihren 5000 m mehrfach übersteigenden Gipfeln, die noch auf keiner der bisherigen Karten zu finden waren, auf Grund meiner Bereisung dieses Gebietes vom Jahre 1927 eingetragen. Es ist bemerkenswert, daß diese Kordilleren, obwohl in den Tälern zwischen ihnen zahlreiche Dörfer und uralte Kulturlandschaften gelegen sind, bis zum heutigen Tage nicht in das Bewußtsein der wissenschaftlichen Welt gedrungen sind. Das gleiche gilt von den Kordilleren von Cotapata und Copacabana zwischen dem Rio de La Paz und dem Rio de Ayopaya.

Geröllen wälzt, die zahlreichen Übergänge über das reißende Wasser. Dazu gesellt sich an der berühmtesten Stelle, der Junta, wo der Weg nach Araca die Talsohle verläßt, ein heftiger, von Mittag an fast orkanartig wehender Sturm, der durch den Engpaß talaufwärts rast und das gischende Wasser des Flusses wohl 30 m hoch an den Schluchtwänden hinaufspritzt, ihre Felsen und die dürftige Strauchvegetation mit einer dicken Schmutzkruste bedeckend“. Dies war also zur winterlichen Trockenzeit. Die gleiche Beobachtung habe auch ich bei einer ersten Reise durch die La Paz-Schlucht Mitte Juli 1926 machen können. Ich habe daraufhin im November 1926 die Gelegenheit wahrgenommen, die Vegetationsabstufungen des La Paz-Tales genauer zu studieren, auf einer Reise rings um das Illimani-Massiv über den Pacuani-Paß in das Chungamayo-Tal nach Lambate, weiter über Santiago, Serena, Quilambaya, Bellavista nach Cotaña in verschiedenen Höhen durch die La Paz-Schlucht. Auf einer schwierigen Reise von Cochabamba nach La Paz längs durch die Yungas-Region im März 1928, also in der vollen Regenzeit, querte ich außerdem das La Paz-Tal weiter abwärts in der Gegend der Miguilla-Mündung zwischen Circuata und Irupana. Aus den Ergebnissen dieser Reisen sind die Eintragungen in die Kartenskizze Abb. 2 und in das Vegetationsprofil Abb. 3 gewonnen. Besonders drastisch erlebte ich dabei die Wirkung des Tageswindes bei der Finca Bellavista, die in der halbwüstenhaften Talenge („Angostura“) des La Paz-Flusses am Hang gegenüber der Mündung des Araca-Tales gelegen ist. Ein wahres Abenteuer ist der Ritt an den halbschweren Saumpfad über der gähnenden Schlucht, wenn man in den Mittagsstunden vom Sturmwind überrascht wird. Er setzte damals ziemlich genau um 12 Uhr ein, wirbelte das kahle Erdreich auf, verfrachtete Mengen von Sand und Grus und verursachte auch gefährlichen Steinschlag. Jeder vom Wind erfaßte Gegenstand ist rettungslos verloren. Auf das Auftreten dieses Sturmes gefaßt, breitete ich in der Finca meine Schätze an Herbarien nicht im Freien, sondern in einem leerstehenden Hause zum Trocknen aus. Aber bei einem heftigen Stoß riß der Sturm Türen und Fenster auf, blies die Papierbogen mit den Pflanzen ins Freie, wo ich sie dann in ihrem Flug steil bergan gegen den Illimani nur noch mit dem Fernglas verfolgen konnte. Aber eine wichtige Beobachtung war mit diesem Verlust erkaufte, nämlich, daß der Wind am Talhang seitwärts und steil bergauf gerichtet ist.

Daß dieser tageszeitliche Wind mit der Trockenheit des Tales zusammenhängen muß, wenn auch zunächst auf geheimnisvolle Weise, war mir bereits klar geworden, als ich bei der Bereisung der Provinz Muñecas in den beiden trockenen Durchbruchstätern, und zwar an den jeweils engsten Stellen, von oberhalb Consata bis etwa Quiabaya einerseits, bei Camata andererseits ähnliche starke, regelmäßig um die Mittagszeit einsetzende Sturmwinde feststellen konnte. Im Wüstental zwischen Consata und Sorata ist seine Wirkung auf das deutlichste auch an den Kronenformen der Bäume und am schrägen Wuchs und der einseitigen Behaarung von Kakteen zu erkennen. Dünen im Flußtal und Windschliffen an den Hängen deuten auf seine Regelmäßigkeit hin, die uns auch der deutsche Ingenieur und Alpinist Lolo Schulze, der viele Monate auf der Mine La Fundación bei Quiabaya gelebt hat, bestätigte. Nach seiner Aussage und der der Bewohner von Camata weht er alltäglich durch das ganze Jahr in der Regen- und Trockenzeit und zwar im allgemeinen in den Stunden 12 bis 15 Uhr. Das regelmäßige und auch tageszeitlich gleichzeitige Einsetzen in die-

sen über 200 km entfernten Tälern deutet mit Sicherheit auf ein großräumiges System von Ausgleichswinden hin.

5. Die dreidimensionale Anordnung der Vegetation in den Durchbruchstälern.

Bevor wir uns der Erklärung der Trockenheit zuwenden, sei noch der Vegetationsaufbau dieser Täler geschildert. Folgen wir zuerst der Talsohle des Rio Mapiri-Consata, weil ich in diesem Tal den gesamten Längsschnitt lückenlos kennengelernt habe. Unsere Reise führte von Sorata über die Kordillere von Yani in die Regenwälder von Mapiri, von dort zurück durch das Consata-Tal nach Consata, über Aucapata und die Cordillera Coanzani nach Camata, durch das Tal von Charassani nach Curva, Amarete und über die Pässe von Gallinsani nach Ayata, schließlich über das eigentliche Durchbruchstal des Rio Consata-Llica nach Sorata. Der tropisch-feuchte palmenreiche Regenwald von Mapiri reicht talaufwärts bis über San José unterhalb Consata. Von dort an bemerkt man zunächst auf dem Rücken zwischen den Seitentälern ein Trockenerwerden des Waldes, dem einzelne Grasflächen eingestreut sind (Feuchtsavannenzone). Im Becken von Consata, das schon einen Grad trockner ist, öffnet sich der Wald. Er ist dort im Übergangsgürtel durch Kulturen verdrängt, die teils auf Regenfall, teils mit künstlicher Bewässerung gedeihen: Manihot, Bataten, Baumwolle, Reis, Kaffee, Zitrusfrüchte, dazu Coca in Terrassenkulturen an den Hängen — also eine Insel der typischen Wirtschaftslandschaft der Medio Yungas. Oberhalb Consata sind die Berghänge von dem aus NW-Argentinien bekannten Zebilwald (*Piptadenia macrocarpa*, hier Huilca genannt) überkleidet, einem mesophytischen, fiederlaubigen Wald, der auch den Savannenbaum *Lühea paniculata*, baumhohe Kandelaber-Kakteen, Opuntien und Phyllocactus enthält, von Leguminosensträuchern unterwachsen und von epiphytischen Tillandsien behangen ist — das Ganze durchtönt von dem eintönig schrillen Gesang der Zikaden. Schon eine Wegstunde weiter bei Hachapampa wird *Piptadenia* zwergwüchsig, kleine Flaschenbäumchen der Gattung *Bombax* und *Jacaranda cuspidiifolia* treten hinzu, weiter sukkulente Schopfpflanzen (*Agave*, *Puya*, *Fourcroya*), sukkulente Erdorchideen, Peperomien, *Cotyledon*, zahlreiche Kakteen, Trockensträucher und Halbsträucher. Auf den Schotterfeldern der Talböden stehen Dornakazienbäumchen von *Acacia macracantha* und *Prosopis nigra*. Wir sind in den ausgesprochen ariden Dorn- und Sukkulentenbusch eingetreten, in dem nur noch Bewässerungskulturen vorkommen. Damit aber haben wir auch schon die Windpforte betreten. Eine weitere Wegstunde flüßaufwärts, in dem von Inka-Ruinen übersäten und ehemals reichbesiedelten Tal haben wir die Halbwüste erreicht, die uns weiter talaufwärts bis über die Mündung des Rio Copani begleitet. Ihr Pflanzenwuchs wird hauptsächlich von niederen Kakteen, wasserholzigen Miniaturbäumchen von *Iatropha* und den extrem xerophytischen Bromeliaceen gebildet, nämlich einer mit dicken, schwarzen Stämmen hinkriechenden *Puya* und der grau behaarten *Tillandsia Landbeckii*, die dem Boden wurzellos aufliegt, ähnlich wie die berühmten *Tillandsia*-Bestände der Atacama-Wüste. Wenn man auf die Übernachtung in Consata verzichtet, wäre es hier in der Tat möglich, an einem Vormittag auf Maultierrücken vom Regenwald bis in die Wüste durch alle Übergangszonen zu reiten. Der

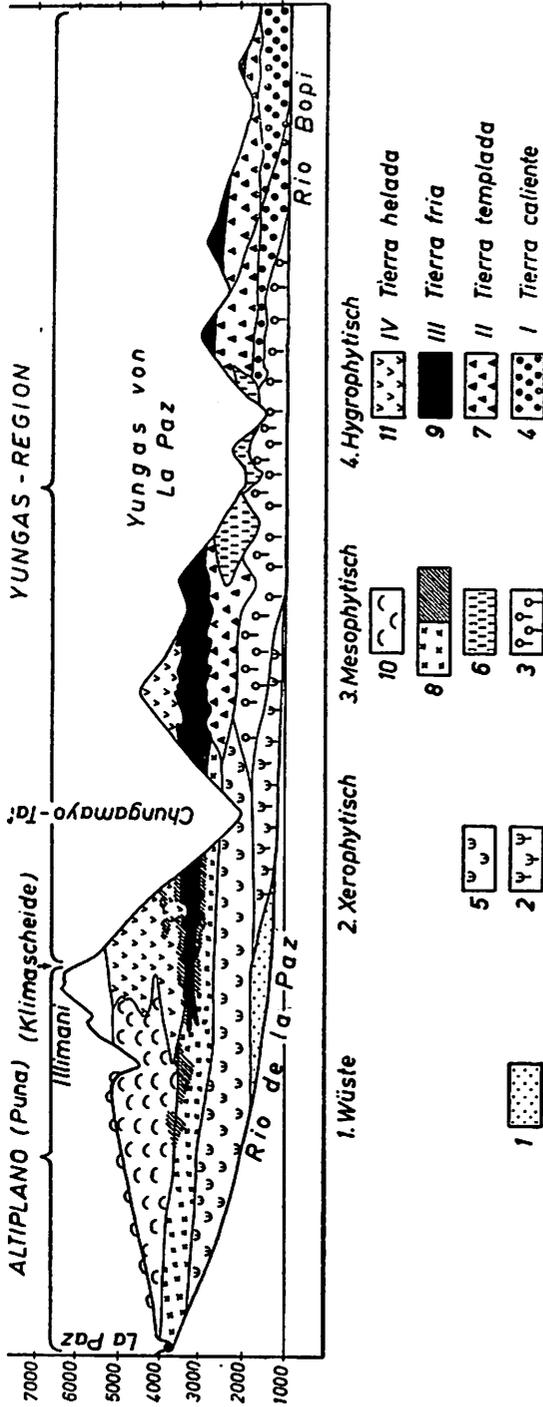


Abb. 3. Der Vegetationsaufbau im Durchbruchstal des La Paz-Flusses vom Altiplano von La Paz durch die Cordillera Real und die Yungas-Region bis zum tropischen Regenwald (Orig.).

- 1.— 4. Heißes Land: 1. Wüste, 2. Dorn- und Sukkulantenwald der Tief-Valles (Caatinga-Typ), 3. Trockenwald und Savannenwald (Piptadeniawald), 4. Regenwald (Montaña);
- 5.— 7. Warmtemperiertes Land: 5. Dornbusch der Hoch-Valles, 6. Bergsavannen der Yungas, 7. Feuchter Bergwald;
- 8.— 9. Kühltemperiertes Land: 8. Mesophytischer Busch der Sierra-Stufe (Cabezera de Valle) und Polytepisgehölze („Queñuales“), 9. Höhen- und Nebelwald (Ceja de la Montaña);
- 10.—11. Kaltes Land: 10. Mesophytische Puna (Graspuna), 11. Feuchte hochandine Grasfluren der Nebelregion (Fajonales);
Weiß: Nivaler Bereich über der Schneegrenze.

Trockengürtel ist aber auf den tiefen Grund der Täler beschränkt. Nach oben geht die Wüste allmählich in immer feuchtere Klimate über und hoch über ihr zieht der tiefend feuchte Nebelwald der Ceja an den Talhängen entlang, weiter gebirgseinwärts abgelöst vom immergrünen Nebelbusch. Die mäßig feuchten Höhen der mesophytischen Stufen dazwischen sind dicht bewohnt und bilden eine Zone von Indianerdörfern und Landgütern, eine flächenhaft bebaute Kulturlandschaft zwischen den Oasen der Talgründe und der Anökumene der Hochkordilleren. Es ist die Zone, die der Bewohner als „Cabezera de Valle“ bezeichnet. Einzelne Landgüter, z. B. Churupata oder Fernambuco, reichen vom wüstenhaften Talgrund durch alle Stufen bis in die Hochkordilleren. Über dem Talgrund, in dem Zuckerrohr, verschiedene Fruchtbäume und tropische Knollen in kleinen „Huertas“ gebaut werden, folgt hier oben eine Zone mit Getreidebau (Mais und Weizen) meist ohne Bewässerung, weiter oben mit Weizen und Gerste und in noch größerer Höhe in der Zone des Nebelbusches der Anbau von Kartoffeln, Oca und Faba (Saubohnen). Der Nebelwald der Ceja begleitet das Tal des Rio Llica auf der nördlichen Flanke bis Aucapata, auf der südlichen bis über Quiabaya, auch das Trockental von Camata an den Hängen der Berge Toana und Sorapata. Der immergrüne Nebelbusch mit seiner reichen Flora am prächtig blühenden, lorbeerblättrigen Büschen (*Gaultherien*, *Brachyotum*, *Barnadesia*, *Fuchsia*, *Bocconia*, *Vallea*, *Siphocampylos* usw.) setzt die Ceja talaufwärts fort bis in das Quellgebiet unter der Wasserscheide, so weit als die täglichen Nebelwinde vordringen. Diesen feuchten Buschgürtel muß man hier also auf alle Fälle queren, wenn man vom Altiplano in die trockenheißen Täler gelangen will. Die Trockentäler sind hier im Norden also wirkliche Inseln innerhalb des Feuchtgebietes der östlichen Andenabdachung.

Im La Paz-Tal (Abb.3) dagegen, wo die Feuchtigkeit des Ostens durch die Talpforte am Illimani nicht weiter ins Binnenland eindringt, steht das trockene Valle mit dem Trockengebiet des Altiplano in offener Verbindung. Die Trockenheit des Wüstentales ist dort vielleicht noch etwas stärker ausgeprägt als im Consata-Tal. Die Finca Bellavista hatte bei meinem Besuch 1926 seit zwei Jahren überhaupt keinen Tropfen Regen empfangen. Talabwärts geht diese Wüste in den Dorn- und Sukkulentenbusch an der Mündung des Chungamayo-Tales über, dieser wieder in die mesophytischen Piptadenia-Wälder an der Miguilla-Mündung. Am Aufbau dieser Wälder beteiligen sich auch andere Harthölzer wie die *Anacardiaceen* *Schinopsis peruviana* (eine Quebracho-Art namens „Soto“) und *Astronium Urundauva* („Sotocolo“), ferner *Lühea paniculata*, *Trema mollis*, *Acacia boliviana* und *Ceiba Mandoni*, auch große Kakteenbäume und *Agave mexicana*. Diese Wälder müssen ein Stück weiter talabwärts in die Regenwälder übergehen — wo, ist vorläufig noch unbekannt. An den Hängen über ihnen folgt meist der Regenwald der Medio Yungas oder Tierra templada, in welchem sich hier noch Cecropien und der „Balsabaum“ *Ochroma*, aber auch bereits Baumfarne finden. Nur in der trockeneren Längssenke, die von Coroico über Coripata, Chulumani und Irupana und über das La Paz-Tal nach Cajuata, Circuata und Suri zieht, also in der dichtbebauten eigentlichen Kulturlandschaft der Yungas (s. Abb. 2) sind weithin Höhensavannen entwickelt, in deren offenbar stark kulturveränderten Hochgrasbeständen Bäume von *Schinopsis*, *Jacaranda*, *Astronium*, *Miconia*, *Psidium* und Gebüsche von

Dodonaea viscosa eingestreut sind. Allenthalben folgt darüber der Nebel- und Höhenwald, der sich auch über dem trockenen Grund des Chunga-mayo-Tales und am Hange des Illimani zwischen Santiago und Quilambaya, außerdem auf der Gegenseite am Hang der Kordillere von Araca fortsetzt. Der Nebelwaldgürtel wird dabei allerdings durch das Ansteigen der Trockengrenze immer schmaler und keilt schließlich am Hang des Illimani über Bellavista vollständig aus. Sehr häufig, auch bei sonst klarem Wetter ist dieses schmale Band von Cejawald durch eine Wolkenbank angezeigt, die sich ebenfalls nicht weiter talaufwärts fortsetzt. Ihre Untergrenze ist eine ziemlich glatte, stratusartige Kondensationsgrenze, während sie an der Oberseite zu Cumuluswolken geballt ist, sobald am Vormittag die Erwärmung beginnt. An seinem oberen und unteren Rand ist der Cejawald von Gehölzen der in den tropischen Anden weit verbreiteten Queñua (*Polylepis*) begleitet. Der Polylepisgürtel setzt sich auch weiter talaufwärts über Cotaña fort. Bei Atauallani in 3500 m oberhalb Cotaña sind ihm als letzte Zeugen des Cejawaldes *Oreopanax macrocephala* und *Myrica xalapensis*, von Moosen und Flechten überhangen, eingestreut, an den Bachufern auch Gehölze von *Alnus jorullensis*. Auch talaufwärts geht die Wüstenvegetation der Angostura in feuchtere Formationen über, aber nicht in eine immergrüne-hygrophytische Zone, sondern nur in mesophytische Buschgürtel der Tierra templada, Tierra fria und Tierra helada (Abb. 3). An den Hängen der Talenge des La Paz-Durchbruches liegen die beiden Landgüter Cotaña und Araca. Beide reichen durch mehrere tausend Meter Höhenunterschied von der Wüste der Talsohle bis zu den Schneegipfeln der Kordilleren. In den kleinen Oasengärten, die am Fluß bei 1500 bis 1700 m zwischen die kahlen Felswände, Terrassen und Erdrutschmassen eingeklemmt sind, wird Huerta-Wirtschaft betrieben, Bewässerungsanbau auf Früchte aller Art, Bananen, Pfirsiche, Zitrusfrüchte, Chirimoyas, Paltas, Feigen, Passiflora, Weintrauben, Granatäpfel, Inga, Lucuma, dazu Baumwolle und etwas Ölbaum. Das Zuckerrohr fehlt hier. Auch noch viel höher in dem Kakteenbuschgürtel der höheren Vallestufe, z. B. in Araca-Torrepampa und in Cotaña, herrscht lediglich Bewässerungsanbau, ganz vorwiegend Obstbau auf Pfirsiche, Weintrauben und Äpfel. Die Getreidezone folgt erst weiter oben im Gürtel des mesophytischen Sierrabusches, wo Regenfeldbau möglich ist, z. B. in Araca-Teneria und in Cotaña-Giambaya. Dort gedeihen Weizen und Gerste, Quinoa und Hülsenfrüchte ohne Bewässerung (außer bei der Saat), Mais, Kartoffeln, Luzerne und Obst (Pfirsiche, Äpfel, Quitten) mit Bewässerung. Noch weiter oben, bei Araca-Colpani und bei Cotaña-Atauallani, wo neben Kartoffeln auch Oca angebaut wird, folgen die Polylepisgehölze. Darüber treten wir in die eigentliche Puna ohne Anbau ein.

Neben den genannten Trockeninseln gibt es am Andenabfall NE-Bolivians ein weiteres Trockentalsystem zwischen der Cordillera de Quimza Cruz und der Cordillera de Cocapata. Es ist das Becken von Ayopaya mit dem Flusse gleichen Namens und seinen Nebenflüssen Rio Santa Rosa, Rio Machaca und Rio Cazu (Abb. 2 im Anhang), das nach Norden zum Rio Beni entwässert. Dieses Becken ist orographisch viel stärker abgegliedert als man auf den bisherigen Karten ahnen konnte, da in der Fortsetzung der Cordillera de Cocapata, von der uns Th. Herzog eine schöne Übersichtskarte geliefert hat, noch jenseits des Rio Ayopaya bis zum Rio de La Paz

zwei Kordillern von Hochgebirgscharakter weiterziehen^{*)}). Zwischen den Kordillern von Copacabana und Cocapata bricht das Ayopaya-Tal hindurch, von dem wir keinerlei Nachricht besitzen. Wir wissen infolgedessen auch nicht, wie weit im Tal dieses Flusses der feuchte Regenwald aufwärts reicht. Ich querte das Tal weiter oberhalb bei den kolonialzeitlichen Klosterruinen von Sacabaya. Dieser Talabschnitt und das untere Santa Rosa-Tal aufwärts bis zum Orte gleichen Namens sind von Trockenwäldern eingenommen. Die Vegetation erinnert hier noch mehr als im La Paz-Tal an das südöstliche Bolivien. Im Trockenwald herrschen *Schinopsis marginata*, *Aspidosperma Quebracho blanco*, *Piptadenia zebil*, *Prosopis* und große Cereen. Ganz südostbolivianisch sind die feuchten Höhenwälder der Nebelstufe in der Gegend von Independencia und Sacabaya-Sailapata. Es sind nämlich nicht mehr die vom Norden her bekannten Cejawälder, sondern Gehölze von *Podocarpus Parlatoarei*, *Alnus jorullensis* und Eugeniaarten, die von hier an bis Tucuman in Argentinien die Nebelstufe anzeigen. Wo die lichten *Schinopsis*-Wälder nach oben unmittelbar an die nebelfeuchten Höhen grenzen, kommen kakteenreiche Trockenwälder zustande, die infolge der Luftfeuchtigkeit mit Bartflechten und *Tillandsia usneoides* derartig überhangen sind, daß ein wahrer Märchenwald entsteht, dessen Bodenfeuchtigkeit aber doch noch nicht ausreicht, um immergrünen Wald zu erzeugen. An der oberen Grenze des Trockenwaldes treten auch hier wie in SE-Bolivien Jacaranda-Gehölze auf. Es muß der Zukunft überlassen bleiben festzustellen, ob auch in diesem Tal eine extrem trockene Zone entwickelt ist. Am ersten könnte man sie unterhalb der Mündung des Rio Santa Rosa erwarten. Es kann aber auch sein, daß durch die geringere Höhe der begleitenden Kordillern und die breite Öffnung des Ayopaya-Beckens nach oben das Talwindssystem keine so große Steigerung erfährt wie im La Paz-Tal.

6. Die Erklärung der Trockenheit der Windpforten.

Es liegt der Gedanke nahe, die Trockenheit dieser Täler mit der Lee-wirkung der vorgelagerten regenabschirmenden Bergketten zu erklären. So tat es wohl R. H a u t a l, ohne darauf näher einzugehen. Bei der Darstellung des trockenen Beckens von Santa Ana und Rosalina im Urubamba-Tale, nördlich Cuzco, schreibt z. B. I. B o w m a n²⁰⁾: "All these sharply defined limits and contrasts are due to the fact, that the broad valley, discharging through a narrow and remote gorge, is really to leeward of all the mountains around it. It is like a real desert basin except in a lesser degree of exclusion of the rains". Dieses Becken von Santa Ana, die Yungas-Region von Cuzco mit ihren bewässerten Zucker- und Kakaopflanzungen, ist aber nicht mit unseren Durchbruchstälern zu vergleichen. Es liegt weit jenseits der wetterscheidenden Hauptkordillern im Regenwaldland zwischen 600 und 1100 m und von Vorbergen von etwa 3000 m abgeriegelt. Als

^{*)} Sie sind bisher in keiner Darstellung erwähnt und in keiner Karte verzeichnet worden, obwohl es sich, nach den Hochgebirgsformen, die mit Sicherheit auf eiszeitliche Vergletscherung schließen lassen, um Ketten von schätzungsweise 4500 m Höhe handeln dürfte. Über den Paß zwischen ihnen verläuft ein Saumpfad nach Arcopongo. In unsere Karte konnten diese beiden Kordillern von Copacabana und Cotapata nur näherungsweise eingetragen werden, da ich sie von der Route längs durch die Yungas von Inquisivi nur aus einiger Entfernung festhalten konnte.

Savanneninsel entspricht es einigermaßen der ebenfalls regenabgeschirmten Längssenke der Yungas von La Paz. Für die trockenen Durchbruchstäler kann die Erklärung der Leewirkung allein nicht genügen, denn die dort täglich auftretenden heftigen Winde sind ja nicht Fallwinde, sondern talauf gerichtet. Da Zusammenfallen von periodischen Tageswinden großer Stärke, tiefen Durchbruchstälern und Trockeninseln an mehreren Beispielen deutet darauf hin, daß Orographie, Winde und Trockenheit auch kausal ein einheitliches Phänomen darstellen.

Eine Erklärung glaube ich in der Theorie des Berg- und Talwindes von A. Wagner²¹⁾ gefunden zu haben. Er stellt von den alpinen Erfahrungen her für Berg- und Talwinde zunächst fest, daß sich ungeschwächter Talwind nur dann einstellen kann, wenn die Luftmasse als Ganzes horizontal in das Tal einströmt und die notwendige vertikale Bewegung auf diejenigen Teile des Talquerschnittes beschränkt bleibt, wo die dafür notwendige Arbeitsleistung durch örtliche Energieumsätze gedeckt wird, wo also die dynamische Abkühlung beim Aufsteigen durch Wärmezufuhr, die dynamische Erwärmung beim Absteigen durch Wärmeentzug kompensiert wird. Es lasse sich in der Tat durch Beobachtung feststellen, daß ein entsprechendes, an die Hänge gebundenes Windsystem existiere: an den steilen Hängen von Gebirgstälern wird an Tagen mit Berg- und Talwind auch der Hangwind beobachtet, der tagsüber in der Falllinie aufwärts, bei Nacht abwärts strömt. Daraus, also aus der Beobachtung und der physikalischen Deduktion, leitet Wagner das folgende Modell des Tal- und Bergwindes ab (Abb. 4). Im Hauptteil des Talquerschnittes strömt die Luft horizontal talein. Diese Luft nährt den seitlichen Hangwind, der den notwendigen Transport von Luft in die Höhe besorgt. Ein Teil dieses Hangwindes biegt gegen die Mitte des Tales zurück, erteilt der Hauptmasse der

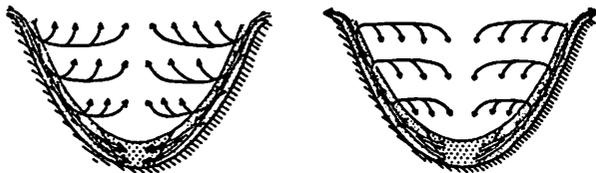


Abb. 4. Modell des Talwindes und Bergwindes im Querschnitt des Tales (nach A. Wagner).

Talluft über der Talmitte eine kleine Bewegungskomponente nach abwärts und verursacht dadurch eine Erwärmung der Talsohle. Während also am Hang der aufsteigende Wind Kondensation erzeugt, erfolgt über der Talmitte das Gegenteil, nämlich Austrocknung. Darauf sei es auch zurückzuführen, daß sich in den Alpentälern tagsüber eine Wolkendecke über dem Tal selbst auflöst, an den Hängen oder über den Kämmen aber sich neuerlich Wolken bilden.

Dieses somit schon in den Alpen angedeutete Phänomen ist in den tropischen Gebirgspforten mit ihrem enormen täglichen Luftaustausch in viel großartigerer Weise entwickelt. Die Kondensation an den seitlichen Hängen ist dort über die ganz trockenen Talsohlen alltäglich in Gestalt einer Wolkendecke sichtbar und in der Vegetation durch den Nebenwaldgürtel

angezeigt. Die hangaufwärts wehenden Winde haben eine sturmartige Heftigkeit. Entsprechend stärker muß daher auch die über dem Talgrund absteigende Komponente sein. Darin sehe ich die Erklärung für die große Trockenheit der Talgründe.

Wir müssen uns dabei allerdings klar sein, daß es sich bei dem ganzen geschilderten Luftaustausch um ein komplexes Phänomen handelt und daß die drei von Wagner theoretisch gesonderten Fälle, Ausgleichswind, Berg- und Talwind, Hangwind, in diesem Falle gekoppelt sind. Der Ausgleichswind ist der großräumige Luftaustausch, der sich auf breiter Front zwischen Tiefebene und Hochfläche vollzieht und der über den Pässen rein entwickelt ist. In den Durchbruchstätern bildet sich untermals ein besonders verstärkter lokaler Wind aus, der ein echter Talwind im Sinne von Wagner ist, wenn auch gewisse Unterschiede gegenüber den Talwinden der breiten und flachsohligen Alpentäler bestehen. Die starke seitliche Hangauf-Komponente jedoch ist typischer Hangwind, der für die Entstehung der Kondensationsgürtel auf beiden Talseiten verantwortlich ist, so wie an isolierten Bergkegeln für den ringförmigen Wolkengürtel. Damit wird auch verständlich, daß in diesen Tälern die größte Trockenheit gerade an die Durchbruchstrecken durch die eigentlichen Kordillern geknüpft ist. In diesen Talstrecken kann sich wegen der mehrere Tausend Meter hohen seitlichen Hänge auch der Hangwind extrem entwickeln. Wo weiter oberhalb oder unterhalb die Talhänge niedriger sind, kann er seitlich überfließen und abströmen. Dann ist auch die gegen die Talmitte zurückkehrende Komponente kleiner, infolgedessen die trocknende Wirkung geringer. Überspitzt ausgedrückt, wäre also der Illimani für die Wüstenhaftigkeit der Talstrecke zu seinen Füßen mitverantwortlich.

7. Windpforten und Trockenheit in den übrigen Teilen der tropischen Anden.

Mit den im nördlichen Bolivien gewonnenen Erkenntnissen ausgestattet, können wir nunmehr unseren geschärften Blick auf die übrigen Andentäler lenken.

Im südöstlichen Bolivien schneiden vom Rand des Gran Chaco her die großen verzweigten Talsysteme des Rio Grande und des Pilcomayo tief in den Gebirgsrumpf hinein (vgl. Abb. 1). Im Gebirge durchfließen sie zunächst wenig verzweigt die äußere Zone der feuchten, mäßig hohen Randketten. Sie ist geologisch durch den Aufbau aus den roten Pucasandsteinen, vegetationskundlich durch die sommergrünen randtropischen Regenwäldern („bolivisch-tucumanischer Wald“) charakterisiert. Leitformen dieses üppigen Waldes sind *Phoebe porphyrea*, *Juglans australis*, *Cedrela Lilloi*, *Enterolobium Timbova*, *Terminalia australis*, *Myroxylon* u. a. Mit scharfer Grenze steigt von der Randkettenzone westwärts der eigentliche Andenblock mit seinen ausgedehnten Hochflächen und aufgesetzten Kordillerenketten an. Das zonale Klima wird, je weiter wir westwärts kommen, um so trockener. Zunächst folgt auf die Zone der Randwälder noch eine stark beregnete Höhenregion, die ihre Feuchtigkeit von östlichen Steigungsniederschlägen erhält. Es ist die Zone der ostandinischen Matten und blumenreichen Grasfluren, in die in Mulden und Schluchten immergrüne Gehölze von Pino (*Podocarpus Parlatorei*), Aliso (*Alnus jurulensis*), *Myrica xalapensis*, *Escallonia*, Myrtaceenbäume der Gattung

Eugenia usw. eingestreut sind. Die Westgrenze dieser Matten und Gehölze ist eine Klimagrenze ersten Ranges (Abb. 1). Sie verläuft über die Cordillera de Santa Victoria westlich Tarija, die Höhen im Winkel zwischen Pilcomayo- und Pilayatal, die Cordillera de Sombrosos, das Achachi-Gebirge und die Cordillera de Khuri in Richtung auf Cochabamba, weiter in das Becken von Ayopaya, wo wir die nördlichsten Ausläufer der Pino-Aliso-Gehölze bereits angetroffen haben (Abb. 2). Diese Gehölze setzen hier im randtropischen Gebiet die Nebelwälder der Ceja ebenso fort wie der bolivisch-tucumanische Wald die volltropischen Regenwälder. Die genannte Binnengrenze ist daher auch die Fortsetzung der großen ostandinen Klima- und Wetterscheide. Weiter westwärts folgt das trockenere Binnenland, das in der Höhe von der Puna gekrönt ist. In dem mäßig hohen Gebirgsland von Chuquisaca, Chichas und Cinti sind die Täler und Becken von offenem Dorn- und Hartlaubbusch und die höheren Gebirgshänge von Queñuales (Polylepis-Gehölze) eingenommen, über denen sich die feuchte Graspuna ausbreitet. Weiter westlich, etwa von der Linie Cerro Chorolque-Potosi ab beginnt das aride Hochland, vegetationskundlich die Tola-zone A. Weberbauers mit *Lepidophyllum quadrangulare*, die wir bereits der Dorn- und Salzpuna zuordnen müssen, da sich gleichzeitig mit der *Lepidophyllum*-Heide auch dornige Punazwergsträucher sowie abflußlose und versalzte Becken einstellen. Die Ostgrenze dieser Trockenzone (vgl. Abb. 1) schiebt sich südwärts immer näher an die Westgrenze der Matten und Nebelwälder heran. Die Cordillere de Santa Victoria bei Tarija ist eine scharfe Klimascheide, ihr Osthang ist noch von feuchten Nebelgehölzen mit Pino und Aliso durchsetzt, ihr Westhang führt unmittelbar in das versalzte Punabecken von Patancas hinab.

In diese klimatisch von Ost nach West klar gegliederten Hochregionen schneiden nun die Talsysteme ein. Es sind die Valle-Landschaften SE-Bolivians, Trockentallandschaften mit Dornvegetation. Auf meiner Vegetationskarte der SE-bolivischen Anden²²) habe ich sie in die mäßig trockenen Talregionen der Hochvalles von 2000 (1900)—2900 m und die trockenheißen Tiefvalles (unter 2000 m) eingeteilt. „Die Hochvalles tragen vorwiegend kakteenreichen Trockenbusch (Dorn- und Hartlaubbusch), ihre reichbewässerten Talböden schmücken üppige Kulturen von Mais, Wein, Feigen, Pflirsichen und Luzerne und die charakteristische Erscheinung des Pfefferbaumes *Schinus Molle*. In den Becken mit ihren durchlässigen Sedimentfüllungen und auf den niederen Schotterfluren der Senke von Chichas, aber auch auf trockenen Schwemmkegeln aller Hochvalles sind Schirmakazienbestände eine typische Erscheinung. In den Tiefvalles, die unter 2000 m hinab eingeschnittenen Cañons der größeren Flüsse, sind die steilen Hänge mit einem schütterten xerothermen laubwerfenden Wald bedeckt, in dem Dreiviertel des Jahres die Sonne glüht. In den trockensten und tiefsten Teilen fehlt auch dieser und an seine Stelle treten fast wüstenhafte Kakteen-Bromeliaceen-Bestände mit einer ephemeren Regenflora. Für Kulturen größeren Stils fehlt das flache Gelände, meist schlägt das breite Hochwasserbett des Flusses von Hang zu Hang und nur kleine Terrassenecken an den Mündungen der Seitenbäche erlauben die Kulturen von Zuckerrohr und halbtropischen Früchten. Floristisch zeigen die Trockenwälder der Tiefvalles große Übereinstimmung mit den Dornwäldern des Gran Chaco (Quebracho-Hölzer, flaschenstämmige

Bombacaceen, Capparis- und Iatropa-Arten)“. Da die Trockenheit mit dem immer tieferen Einschneiden der Täler nach Osten zunimmt — umgekehrt wie das Klima der Höhen — liegen die trockensten und heißesten Vallestrecken bereits in der Zone der ostandinen Matten und Nebelgehölze, die hoch über den Talgründen entwickelt sind. Wir erhalten daher eine ganz ähnliche dreidimensionale Anordnung der Klima- und Vegetationsgürtel wie in den Durchbruchstätern NE-Bolivians. Die drei großen Andenporten fallen zusammen mit den Tälern des Rio Grande zwischen Vallegrande und Padilla, etwa an der Mündung des Rio Mizque, die ich im Dezember 1927 und Januar 1928 studieren konnte, in der noch ganz unbekanntem Talstrecke des Pilcomayo unterhalb der Straßenbrücke Potosi-Sucre und im Pilaya-Tal nördlich Tarija, das ich auf einer Reise von Potosi über Camargo und Culpina nach Tarija im September 1927 besuchte. Auch diese Täler sind Windporten für die tageszeitlichen Ausgleichswinde, die sich zwischen der Chaco-Ebene und dem SE-bolivischen Hochland entwickeln. Da aber der Übergang vom Gebirgshang zum Hochland nicht so schroff und eng zusammengedrängt ist und da die Täler in der Durchbruchsstrecke nur etwa halb so tief eingeschnitten sind wie beiderseits der Cordillera Real, ist das Talwindssystem etwas schwächer und dementsprechend die Trockenheit im Talgrund nicht bis zur Wüstenhaftigkeit gesteigert. Im heißen Tal des Pilaya herrscht eine Dornwaldvegetation, die voll und ganz dem Dornwald vom Caatinga-Typus entspricht, den wir draußen in der Chaco-Ebene bei Villamontes antreffen. Die herrschenden Bäume sind der „Palo borracho“ (*Chorisia ventricosa*), der wasserholzige und papierrindige Baum *Cochlospermum tetraporum*, die Harthölzer *Schinopsis Lorentzii*, *Aspidosperma Quebracho blanco*, *Swietenia Mahagoni*, *Bulnesia Sarmienti*, *Piptadenia Zebil*, dazu alle möglichen Kakteen bis zu den großen Kandelaberbäumen von *Cereus peruvianus*, dornige Leguminosenbäume der Gattungen *Acacia* und *Prosopis* und der dornig sukkulente Unterwuchs von Bromeliaceen (*Puya* und *Aeschmea*). In größerer Höhe folgt ein weniger trockener Übergangswald aus fiederlaubigen Bäumen und von geringerer Bedornung mit *Piptadenia Zebil*, *Tipuana speciosa*, *Banisteria lutea*, *Cnicothamnus Lorentzii* und dem prächtig blühenden Bignoniaceenbäumen *Jacaranda cuspidifolia* und *Tecoma rosea*. Noch weiter oben folgt ein bereits ausgesprochen mesophytischer Waldgürtel von *Prosopis Herzogii*, in dem bereits zahlreiche immergrüne Myrtaceenbäume von *Eugenia* eingestreut sind. Die Wälder erscheinen aus der Ferne grau, da die Äste mit den weißlich behaarten Tillandsien besetzt und behangen sind — das typische Bild eines Übergangswaldes, dessen Epiphytismus auf die hohe Luftfeuchtigkeit der darüber liegenden Wolkenbank zurückgeht, dessen Wasserhaushalt aber noch nicht für einen immergrünen Wald ausreicht. Erst über ihm gelangen wir in die immergrüne Mattenregion mit den lorbeerblättrigen Gehölzen von Pino, Aliso und Eugenieen, wo alle Felsen mit braunen und dunkelgrünen Moostepichen und Krustenflechten überzogen sind und auch der Reichtum an hygrophytischen Farnen die Feuchtigkeit zum Bewußtsein kommen läßt. Aber schon auf der Wasserscheide gegen das abflußlose, von einem Salzsee eingenommenen Becken von Culpina wird diese ozeanisch-feuchte Gebirgslandschaft schlagartig abgelöst von einer trockenen Punalandschaft: vom Talgrund des Pilaya bis zum Salzsee von Culpina eine Abwechslung im Vegetationsprofil, wie sie auch in diesen Gebirgen nur selten angetroffen wird. Im Durchbruchstal

des Rio Grande unterhalb der Mizque-Mündung herrscht ein ganz ähnliches Vegetationsprofil. Dort allerdings ist zwischen die feuchten Pino-Aliso-Gehölze der Höhe und den Piptadenia-Tipuana-Wald der unteren Talhänge noch eine Waldstufe eingeschaltet, die aus *Juglans australis*, *Cedrela Lilloi* und *Phoebe porphyrea* gebildet ist und somit einen Ausläufer der feuchten randtropischen Wälder über der Trockentalstufe darstellt.

In den peruanischen Anden zeigt uns die Vegetationskarte von A. Weberbauer in Verbindung mit einer Höhenschichtenkarte die Stellen an, an denen ähnliche klimatische Verhältnisse zu erwarten sind. Bis etwa 8° s. Br. bleibt im Prinzip das allgemeine Klima- und Vegetationsprofil der nordbolivianischen Anden bestehen, d. h. einer in Regenwald gehüllten Ostflanke des Gebirges steht eine trockene Westflanke und Küstenwüste gegenüber. Die Grenze zwischen den immerfeuchten ostandinavischen und den trockenen innerandinen Landschaften ist dort zu ziehen, wo die hochandine, mikrotherme Puna und die regengrünen, mesothermen Grassteppen der innerandinen Talbecken ostwärts abgelöst werden von den immergrünen oder fast immergrünen Grasfluren der Hochregion bzw. den immergrünen Gehölzen der Nebelregion (Ceja). Vom Südostende der Cordillera de Apolobamba im Tale von Charassani bis auf die Cordillere im Nordosten von Cuzco zwischen dem Urubamba und Paucartambotal, also auf 370 km Erstreckung, verläuft diese Grenze über den wasserscheidenden Kamm der Ostkordilleren, die an keiner Stelle durchschnitten ist. Dann aber beginnt die ganze Serie von tief eingesägten Durchbruchstälern, die alle im Tiefland schließlich vom Ucayali gesammelt werden, nämlich Urubambatal, das obere Apurimactal mit seinen Verzweigungen Pachachaca- und Pampas-Tal und das Mantaro-Tal mit dem Nebental von Huanta, schließlich noch das alleroberste Stück des Tales des Perené oder Chanchamayo im Becken von Tarma. Im tiefen Grund all dieser Täler geht der Regenwald, der sie in ihrem unteren ostwärts geöffneten Teil erfüllt, talaufwärts in sehr trockene Talstrecken über, in denen ganz offener kaktienreicher Xerophytenbusch ohne Bäume oder mit kleinen, z. T. wasserholzigen Bäumen (*Bombax* u. a.) herrscht und Anbau nur auf den Schwemmkegeloasen des Talrandes betrieben werden kann (Abb. 1).

Die Durchbruchstäler im Nordwesten von Cuzco, das Urubamba- und Apurimac-Tal zwischen den gletschertragenden Gipfeln der Cordillera de Vilcabamba (Salcantay, Soray, Pumasillo, Soirococha, Panta und Jayuri mit 5000 bis 6260 m Gipfelhöhe) bieten eine dem La Paz-Durchbruch völlig entsprechende Situation. Die Apurimac-Schlucht von Choquequirau ist in unmittelbarer Nachbarschaft dieser Gipfel auf 1000 m Sohlenhöhe eingeschnitten, die Urubamba-Schlucht von Torontoy zwischen Ollataytambo und Macchu Picchu nicht viel weniger. Der Boden der ersteren ist "really arid, with naked gravel and rock, cacti stands and gnarled shrubs as the chief elements of the landscape"²³). Aber über der Schlucht zwischen 2200 und 4000 m zieht sich ein Wolkengürtel entlang. „Selten dehnt er sich über das Tal und im allgemeinen hängt er als ein weißer Gürtel an den gegenüberliegenden Wänden. Wenn der Talaufwind des Tages zu wehen beginnt, wird er talauf getrieben, oft um aufgelöst zu werden, wenn er die wärmeren Hänge des oberen Tales berührt, gerade so wie seine sich senkende Untergrenze ständig aufgelöst wird in der wärmeren Luft des Talbodens. Wo der Niederschlag am stärksten ist, ist ein Gürtel von Wald — dunkle, knorrige, moosbehängene, nasse Bäume — ein Zauberwald“. Die

Beschreibung könnte kaum besser gegeben sein, um die Übereinstimmung von Klima und Pflanzenkleid mit den früher geschilderten Windpforten zu belegen. Im Urubamba-Tal liegen die Verhältnisse allerdings etwas verschieden. Das innerandine Trockental beschränkt sich dort auf die Zone des Hochvalle von 2800 bis 3200 m, in der auch die Stadt Urubamba liegt. Die Vegetation ist von einer in der Trockenzeit verdorrten Buschformation mit viel Kakteen, Bromeliaceen und Schinus-Arten gebildet, die aber talabwärts nicht in ein noch trockeneres Tieftal übergeht, sondern gerade in der steilen Engtalstrecke des Durchbruches durch die Vilcabamba-Kordillere bei 2300 bis 1500 m in den feuchten, immergrünen Nebelbusch und den Cejawald des Andenaußenabfalles²⁴). Noch weiter talabwärts in 1100 bis 600 m, also in der Tierra caliente, folgt dann nochmals eine Lichtung des Waldes, das Becken von Santa Ana mit seiner Savannenvegetation und seinen tropischen Yungas-Kulturen. Dieser Unterschied des Apurimac- und Urubamba-Tales wäre einer genaueren Untersuchung unter den neuen Blickpunkten wert, zumal es sich dort auch um die archäologisch besonders reichhaltigen Gegenden im Grenzbereich des Incareiches in unmittelbarer Nachbarschaft seiner Hauptstadt handelt.

Ein weiteres lehrreiches Beispiel einer trockenen Windpforte der Anden bietet das oberste Huallaga-Tal Mittelperus beiderseits der Stadt Huanuco. Die breite Längssenke des Huallaga ist vom tropischen Regenwald erfüllt. Von der Stelle an, wo das Tal in scharfem Knick zu einer Quertalstrecke umbiegt, öffnet sich der Wald. Während auf den Höhen die Ceja de la Montaña und immergrüner Nebelbusch sich weiter westlich fortsetzen, folgt in der Talsohle zunächst eine aus Gebüsch und Grasfluren bestehende Savannenformation und schließlich über Santa Maria del Valle und Huanuco ein ausgesprochenes Tieftal mit einer nur dürftigen Kakteen- und Dornbuschvegetation. Weberbauers Karte²⁵) deutet diese Verhältnisse recht gut an. Bereits Spruce soll die Trockeninsel von Huanuco beschrieben haben²⁶). Da mir sein Werk nicht zur Verfügung steht, mache ich darüber Mitteilungen, die ich dem Botaniker D a e b e l, früher Lima, verdanke. Danach ist das Tal oberhalb Huanuco (1800 bis 1900 m) und weiter abwärts bei Rancho von Kakteenbusch eingenommen, dazwischen aber unterhalb Huanuco setzt auch dieser aus und ist das Tal halb wüstenhaft. Dort soll es nach Aussage der Leute auch in der Regenzeit kaum regnen und soll auch die beste Baumwolle des Tales gedeihen. Diese Talstrecke liegt sicherlich nicht zufälligerweise wieder dort, wo es durch eine hohe Kordillerenkette hindurchschneidet. Die Kordillere setzt sich nach Nordwesten zwischen dem Marañon- und Huallaga-Längstal fort, weiter südlich erreicht sie eine Kammhöhe von über 5000 m und trägt im Gebiete des Cerro Huagaruanca (5748 m) auch Gletscher. An den Hängen hoch über dem Trockental ist über 2500 m zunächst eine mesophytische Gebüschzone mit *Dodonaea viscosa* und *Stenolobium*, noch weiter oben im Schutz einer Wolkenbank die Zone der Nebelgehölze entwickelt. Dort gedeihen die immergrünen Ericaceen-Gebüsche von *Gaultheria*, *Cavendishia* und *Pernettya* mit Fuchsien und *Brachyotum*, in den Talrinnen Gehölze von *Alnus jorullensis* und zwischen feuchten, blumenreichen Grasfluren mit *Ranunculus*-, *Oxalis*-, *Geranium*- und *Hypericum*-Arten wie überall in Ostperu Bambusdickichte von *Chusquea*. Diese Wolkendecke und die feuchte Höhenvegetation reicht noch weiter talaufwärts und geht schließlich westwärts und nach oben in die hochandine

Puna über. Die ganze Situation läßt vermuten, daß auch in diesem Tal das System der Tal- und Hangwinde entwickelt ist und daß sich die Trockenheit des Talgrundes dort zum Extrem steigert, wo es in der Durchbruchsstrecke von den höchsten Berghängen begleitet wird.

Ein Tiefvalle größten Ausmaßes stellt das Längstal des Marañon in Nordperu dar, in scharfem Gegensatz zu der regenwalderfüllten östlichen Parallelenke des Huallaga. Nach Weberbauers Darstellung²⁷⁾ ist dieses Tal mit seinen Nebentälern von etwa 400 bis 1500 m Höhe und von etwa $6\frac{1}{2}^{\circ}$ bis $9\frac{1}{2}^{\circ}$ südlicher Breite von Trockenvegetation eingenommen, die abseits der Auengehölze an den Flußufern sich zur Halbwüste steigert, in der Kakteen, xerophile Bodenbromeliaceen, dornige und wasserspeichernde Sträucher und Zwergbäumchen (*Bombax discolor*, *Iatropha*, *Caesalpinia praecox*) eine schütterere Vegetation bilden. Über die Wind- und Klimaverhältnisse dieses Tales ist nichts bekannt, so daß es offen bleibt, wieweit nur einfache Leewirkung oder Talwinde für das Zustandekommen verantwortlich sind.

In den ecuatorianischen Anden ist bekanntlich die orographische Struktur und die Klimaverteilung des Gebirges wesentlich verändert. Die beiden Außenhänge der Kordilleren sind von Regenwald überkleidet und die innerandinen Hochbecken entwässern z. T. gegen Amazonien (Becken von Loja, Cuenca, Riobamba, Ambato-Latacunga), z. T. gegen das pazifische Küstenland (Becken von Jubones, Alausi, Quito und Ibarra). Daß die Hochbecken die Winde von beiden Tiefländern über die Kämmen und durch die Täler anziehen, geht aus einer Äußerung von Th. Wolf²⁸⁾ hervor, daß über 3500 m die Ostkordilleren unter dem Einfluß von Ostwinden, die Westkordilleren unter dem von Westwinden stehen. Tatsache ist, daß in allen aus den innerandinen Becken kommenden Tälern die Regenwaldvegetation nicht weit ins Gebirge eintritt und daß schon in tiefen Lagen Xerophytengehölze mit *Prosopis*, *Cacteen* und *Tillandsien* an ihre Stelle treten. Nach oben gehen diese unter Zunahme der Feuchtigkeit in mesophytische und schließlich hygrophytische Gebüschformationen über, in denen die Ackerbaulandschaften des Hochlandes und die dichtbesiedelten Gebiete gelegen sind. Bei 3000 bis 3400 m in der Übergangsregion von der Feldbaustufe zum Paramo sind es sehr feuchte immergrüne Gebüsche, die in den Gattungen, meist nicht in den Arten, den Nebelgebüschen des bolivischen Ostandenrandes weitgehend entsprechen: *Chusquea-Bambus*, *Escallonia*, *Gaultheria*, *Barnadesia*, *Fuchsia*, *Vallea*, *Brachyotum*, *Siphocampylos* usw. Von den Tiefvalles aber sagt Wolf, daß ihre Pflanzen Wahrzeichen der Trockenheit und der Wüste seien, die denen der südwestlichen Trockenküste Ecuadors ähneln und daß die Bärte der *Tillandsien* auf den Zweigen der rachitischen Büsche des Algarrobo (*Prosopis horrida*) von einem trockenheißen Wind bewegt werden, der dem Scirocco der Sahara gleiche. Es wäre eine dankbare und leichte Aufgabe, im Tale des Rio Chanchan, dem die Bahn von Guayaquil nach Quito in steilem Anstieg folgt, die lokale Zirkulation dieser Täler zu untersuchen.

Auch in den kolumbisch-venezulanischen Anden liegen einige Fälle vor, die in gleichem Sinn gedeutet werden müssen. Das auffallendste und am besten belegte Beispiel ist das kleine Durchbruchstal des Rio Dagua zwischen Buenaventura und Cali, das den westlichen höheren Zug der dort gegabelten Westkordillere durchschneidet und das von der Eisenbahn zum Eintritt in das Gebirge benutzt wird (Abb. 5). Der

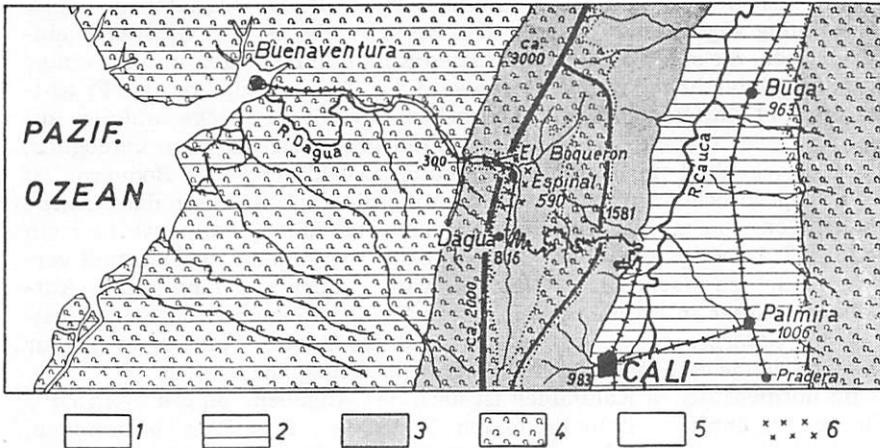


Abb. 5. Die orographisch-klimatische Landschaftsabstufung in Westkolumbien zwischen Buenaventura und dem Valle de Cauca (Orig.).

1. Pazifisches Küstentiefland; 2. Hochebene des Valle de Cauca; 3. Gebirgsland der West- und Zentralkordillere; 4. Regenwald des Tieflandes und des Gebirges; 5. Savannenland (z. T. im Valle de Cauca, z. T. an den Hängen der Westkordillere); 6. Arider Dornbusch im Durchbruchstal des Rio Dagua durch die Westkordillere („El Boqueron“).

Außenhang der Westkordillere ist dort das regenreichste Gebiet Südamerikas mit jährlich über 8000 mm, in einzelnen Jahren noch wesentlich höherem Niederschlag. Bei derartig gewaltigen Regen des Gebirgshanges war es für mich nach den Erfahrungen von Bolivien bis Ecuador 1928 besonders spannend zu sehen, welche Veränderung des Klimas das scharf eingesägte Tal auf der kurzen Strecke hervorruft. Die Niederschlagsverhältnisse des Durchbruchtales sind nach den inzwischen angestellten Messungen bereits in der vorstehenden Arbeit von R. D. Schmidt dargestellt. Ich lasse seiner Schilderung noch eine Kartenskizze (Abb. 5) und einige vegetationskundliche Angaben aus meinen Aufzeichnungen von der Bahnfahrt folgen. Die Durchbruchsschlucht ist ein ganz jugendliches, steiles Kerbtal mit felsigen Hängen aus aufgerichteten Sedimentgesteinen, vielfach so eng, daß die Felsen beiderseits unmittelbar zum Flußbett abfallen und keinen Platz für eine Flußauwe lassen. Am Austritt des Tales auf dem Schwemmkegel, den der Fluß am Gebirgsfuß aufgeschüttet hat, herrscht noch tiefend feuchter, an Bambus und Pfeilrohr (*Gynnerium*) reicher Regenwald. Die ersten Anzeichen einer abnehmenden Feuchtigkeit sind Becher-Bromelien, Fourcroyen, Bodenaraceen, Erdorchideen und ein *Cereus* vom Typ des epiphytischen *C. Pitahaya* an den Felswänden. Bald darauf wird der Wald niedrig und buschartig und ist von Grasfluren unterbrochen. Die Kakteen nehmen zu, ergreifen auch vom nichtfelsigen Boden Besitz, auch ein *Cephalocereus* und *Opuntia* stellen sich ein. Die *Gynnerium*-Röhrrichte des Flußufers werden ersetzt durch dorniges Mimoseengesträuch. Der Name der Station „Espinal“ bringt diesen Vegetationswandel zum Ausdruck. Die trockenste Stelle liegt am inneren Ausgang des

Tales, also dort, wo die verschiedenen Wasseradern aus dem Becken von Dagua zusammenlaufen um gesammelt durch die El Boquerón genannte Talöffnung abgeführt zu werden. Das Becken selbst ist von Grasfluren eingenommen, die stark dem menschlichen Einfluß unterliegen und die einige hundert Meter höher in den Regenwald der Tierra templada mit Fruchtgärten und Kaffeepflanzungen übergehen. Die Niederschläge sind also auf ganz kurzen Abstand auf einen Bruchteil gesunken. Es wäre unmöglich, diese Trockenheit nur durch Leewirkung zu erklären. Der Boqueron ist eine ausgesprochene Windpforte, durch die die Tageswinde in das Gebirge eindringen. Ich möchte mit Bestimmtheit annehmen, daß auch hier ein lokales Talwindssystem existiert, das für die Trockenheit im Talgrund verantwortlich zu machen ist. Jedenfalls wäre es auch hier eine leichte Aufgabe, an dieser so bequem erreichbaren Stelle in einem Profil vom Westfuß des Gebirges durch die Schlucht und das Becken von Dagua bis zur Wasserscheide eine mehrtägige Wetterbeobachtung anzustellen.

Im nordwestlichen Kolumbien ist nach den Angaben von Chapman²⁹⁾ eine zweite ähnliche Stelle im oberen Tale des Rio Sucio zu finden, der in der Gegend von Frontino im östlichen Teil der Westkordillere entspringt, das Becken von Dabeiba durchfließt und durch die äußere Kette des Gebirges zur unteren Atrato-Ebene durchbricht. Das trockene Becken von Dabeiba liegt dort ähnlich wie das Becken von Dagua inmitten sehr feuchter, von Regenwald überkleideter Gebirge.

In den venezolanischen Anden ist wohl das schönste Beispiel das Tal des Rio Chama, der bei der Stadt Mérida zwischen der Culata-Kette im Norden und der vergletscherten Sierra Nevada im Süden seine Wasser sammelt und von dort in einem Längstal nach Westen fließt; um bei Estanques sich in scharfem Knie nordwärts zu wenden und durch die Kordillere zum Becken von Zulia (Maracaibo) hindurchzubrechen. Der ganze südwestliche Teil dieses Beckens, aber auch die freien Hänge der Kordillere bis zu den sie krönenden Paramos sind von Regenwäldern bedeckt. Im Tale des Chama jedoch verzeichnet schon die Vegetationskarte von W. Sievers³⁰⁾ Gestrüppformationen (Monte, Tunal, Cardonal usw.), also kaktusenreichen Dornbusch. Derselbe Autor³¹⁾ erwähnt, daß die öde Vegetation von Cactus, Dornen und Mimosen im Chama-Tal von 400 bis 1100 m Höhe reiche. Auch Prof. H. Gerth berichtet mir darüber, daß dieses Tal unterhalb Ejido (1215 m) bis Estanques (495 m) zunehmend trockener und von immer dürftigeren Kakteenbeständen eingenommen sei. Wahrscheinlich ist auch noch das Durchbruchstal eine Strecke weit trocken, doch ist das nicht beobachtet, da von Estanques ab die Straße wieder westwärts auf die Höhen verläuft. In der etwa 25 km langen Durchbruchsstrecke bis zum Austritt in das offene Becken von Zulia muß sich aber früher oder später der Übergang in den tropischen Regenwald vollziehen. Es kann kaum einem Zweifel unterliegen, daß sich außer der allgemein passatischen Luftbewegung, für die das Chama-Längstal im Regenschatten gelegen ist, auch ein tägliches System von Talwinden zwischen dem Becken von Maracaibo und dem Hochtal des Chama-Flusses entwickelt. Doch ist der Rhythmus der tageszeitlichen Winde und der Bewölkung bisher noch nicht festgestellt worden.

8. Die Hochländer des östlichen Afrika zwischen dem Roten Meer und dem Kap der Guten Hoffnung.

Die geschlossene Kette von Gebirgsländern, die sich durch den Tropengürtel Ostafrikas vom Rande des Roten Meeres über Äthiopien, die ostafrikanischen Seenhochländer und Rhodesien und außerhalb des Tropengürtels bis zum Kapland hinziehen, das sog. „Backbone of Africa“, bietet viele Möglichkeiten, die Wirkungen lokaler Gebirgswinde auf Niederschlag und Vegetation zu studieren. Als alte Rumpfgebirge und vulkanische Tafelländer (Hochland von Abessinien, Basutoland) bieten sie noch mehr als die Anden Südamerikas weitgespannte Hochflächen dar. Doch liegen diese nur in Abessinien und Basutoland über größere Flächen in über 3000 m Höhe und nur drei isolierten Einzelberge (Kilimandscharo, Kenya und Ruwenzori) überschreiten 5000 m und damit die Schneegrenze. Die ostafrikanischen Hochländer unterliegen klimatisch dem bekannten großen Zirkulationssystemen des passatischen und monsunischen Luftaustausches. Sie haben in ihrem Verlauf verschiedene Expositionen zu den vorherrschenden allgemeinen Windrichtungen. Die jahreszeitlichen Luftströmungen sind dabei ü. U. mit tageszeitlichen Winden gekoppelt, die sich durch ihren Rhythmus und ihre Beziehung zum Gelände als lokale Gebirgswinde zu erkennen geben. In der ganzen südlichen Hälfte dieser Hochlandsreihe, vom Tafelberg bei Kapstadt bis etwa 5° s. Br. im mittleren Tanganyika sind die nach Osten und Südosten gekehrten Hänge Luv- und Regenseiten.

Im Winterregengebiet des Kaplandes, das im allgemeinen bei sommerlicher Trockenheit von einer der Macchienv egetation des Mittelmeergebietes entsprechenden Hartlaubvegetation, dem sog. Fynbosch, und bei sehr geringen Niederschlägen von dem Halbwüstenbusch der Karru eingenommen ist, empfangen gewisse dem sommerlichen SE-Passat zugekehrte Gebirgshänge auch passatische Steigungsregen, wodurch immergrüne temperierte Regenwälder erzeugt werden. Die Grenze dieser im Westen nur punkthaften, im Osten geschlossenen Regenwald-Vegetation verläuft vom Tafelberg bei Kapstadt ostwärts über Langeberge und Outeniquasberge zum Kap St. Francis bei Humansdorp. In der Gegend von Port Elizabeth dringt die dürre Karru-Vegetation bis zur Küste vor. Es ist die Stelle, wo die Trockenachse des südlichen Afrika gegen den Indischen Ozean ausstreicht.

Weiter ostwärts treten wir in das südafrikanische Sommerregengebiet ein, wo umgekehrt wie in Kapland im allgemeinen eine sommerliche Regenzeit und eine passatische Trockenzeit abwechseln. Entsprechend ist das Gebiet größtenteils von Grasland oder Savanne bedeckt, in Südafrika als Veld, im einzelnen als Low-Feld, Bush Veld, Middel Veld, High Veld und Thorn Veld bezeichnet. An den Abdachungen des südafrikanischen Hochlandes zur Küste des Indischen Ozeans entstehen aber unter der Wirkung der winterlichen Steigungsregen und tageszeitlicher Austauschwinde lokal immerfeuchte Gebiete mit Regen- und Nebelwald (temperierter, subtropischer oder montaner Regenwald, je nach Breitenlage und Meereshöhe). Diese Regenwälder unterscheiden sich nicht wesentlich von denen des Kaplandes, sind nur reicher im Artenbestand.

Die ersten derartigen Feuchtwälder finden sich nördlich des Großen Fischflusses im Hinterland von East-London, an der Südabdachung des Großen Winterberges und der Elandsberge (Perie-, Amatola- und Egossa-

Wald)³²⁾, also ungefähr dort, wo auch an der Küste der warmtemperierte Feuchtwald beginnt. Weiter nördlich bildet der scharfe Rand des Great Escarpment und der Drakensberge zwischen Basutoland, Oranje-Freistaat und Transvaal einerseits und der Küstenabdachung andererseits eine ebenso scharfe Klima- und Vegetationsgrenze. Diese wohl ausgeprägteste Klimagrenze in Südafrika fällt zunächst auch noch mit der Wasserscheide des Oranje und Vaal gegen die östlichen Küstenflüsse zusammen. Erst im nördlichen Transvaal, im Flußgebiet des Limpopo, wird diese Grenze verwischt, sie tritt aber nochmals zwischen Limpopo und Sambesi scharf hervor in den markanten Höhenzug, dem die Grenze von Südrhodesien gegen Mozambique folgt — die natürliche Fortsetzung des Great Escarpment. Die an den Osthängen dieser Berge gedeihenden feuchten Höhenwälder entsprechen nach J. H. Henke³³⁾ weitgehend denen im Osten der südafrikanischen Union. Westlich dieser Linie gibt es in ganz Rhodesien nur noch Savannen- und Trockenwaldformationen. Die winterlichen Steigungsniederschläge finden an den Grenzbergen ihre absolute Westgrenze.

Die für das südliche Afrika aufgezeigte Exposition der Hochländer zu den passatischen SE-Winden reicht noch in das Gebiet von Nyassaland bis etwa 10° s. Br. Weiter nördlich treten wir in die äquatoriale Zone ein, den Gürtel der Kalmen, bzw. die äquatoriale Westwindzone. Im afrikanischen Gebirgsgürtel allerdings liegen die Verhältnisse verschieden auf der sog. zentralafrikanischen und der ostafrikanischen Schwelle, zwischen denen sich das Binnenhochland des Unjamwesi-Ugandabeckens ausdehnt. Die ostafrikanische Schwelle im südlichen Tanganyika ist zunächst noch als staffelförmiger Abbruch des Hochlandes und erst in Kenya als symmetrische Schwelle beiderseits des Great Rift Valley entwickelt. Die zentralafrikanische Schwelle fällt nach Westen in das Kongobecken ab, durch das der äquatoriale Niederschlagsgürtel und die Regenwaldzone verläuft. Im südlichen Teil der Schwelle, im Bereich des Tanganyika-Sees unterscheidet sich noch deutlich eine trockene östliche Hälfte, die im Wirkungsbereich des SE-Passats gelegen ist. H. Scaëtt hat in mehreren Arbeiten³⁴⁾ nachzuweisen versucht, daß die Schwelle in ihrem südlichen Teil bis zum Kiwusee der Wirkung des SE-Passats, das Gebiet nördlich davon der Wirkung des NE-Passats unterworfen sei. Aber er stellt selbst fest, daß man dort in den unteren Luftschichten nicht von der Existenz allgemeiner Luftströmungen sprechen könne. Es gebe keine klar festgestellten großräumigen jahreszeitlichen oder ständigen Windbewegungen. Die Wolken- und die Vegetation läßt jedenfalls darauf schließen, daß dort auch von Westen her tageszeitliche Winde vom Kongobecken gegen das Hochland gerichtet sind.

Auf der ostafrikanischen Schwelle bleiben die Verhältnisse im südlichen Teil von Tanganyika noch durchaus südtropisch. Es herrscht allgemein eine zenithale Regenzeit im Südsommer und eine passatische Trockenzeit im Südwinter. Aber alle nach SE gekehrten Hänge der Bruchstufen, Horstgebirge und Vulkane bekommen durch Steigungsregen und Nebel auch winterlichen Niederschlag. Wir verfolgen unsere südafrikanische Klimagrenze, in der Landschaft ausgeprägt durch den Westrand der Höhen- und Nebelwälder vom Kamm der Poroto-Kette, die das feuchte Kondeland im nördlichen Winkel des Njassa-Grabens von dem ariden, abflußlosen Rukwa-Graben trennt, über den Kamm des Iringa-Hochlandes in Uhehe, durch Ussagara bis zu den Ungurubergen. Dann springt diese Grenze mit dem

Ausklingen des Stufenrandes über die trockene Massai-steppe weit nach Westen vor, bis zur Bruchstufe von Iraku und zum Hochland der Riesenkrater, auf deren Kamm eine ebenso scharfe Grenze gegen das Trockengebiet des Njarassa-Grabens und die Serengeti-Steppe ausgebildet ist. Am Kilimandscharo und Meru ändert sich die allgemeine Windrichtung durch den Übergang des SE-Passates in den SW-Monsun, der die SW-Seiten der beiden Vulkane zu den bevorzugten Luvseiten macht. Die allgemeinen Regenzeiten sind hier im Norden ebenfalls bereits äquatorial.

Im Hochland von Kenya vollends ist auch auf der ostafrikanischen Schwelle die einseitige Exposition verschwunden. Die Höhen, welche das an seiner Sohle aride Great Rift Valley beiderseits begleiten, das Mauhochland im Westen, die Aberdareberge im Osten, bieten nach Ost und West feuchte Außenseiten dar. Auch am Mount Kenya kann man kaum eine Luv- und Leeseite unterscheiden. Der feuchte Gürtelwald zieht sich allseits um das Bergmassiv herum. Weiter nordwärts folgt nach der Unterbrechung im Bereich des Rudolfsees, wo die Hochlandschwelle auf 700 m eingesattelt ist, die mächtige Anschwellung des Hochlandes von Äthiopien. In seinem Bereich vollzieht sich der Übergang von den äquatorialen zu nordtropischen Breiten und damit auch eine Änderung der Windexposition. Der südliche Teil Äthiopiens ist noch nach Westen und Osten Steigungswinden ausgesetzt³⁵). Die größten Niederschläge erhält es im Südwesten durch den Sommermonsun, der auf den Höhen ausgedehnte Feuchtwaldgebiete erzeugt. Jenseits der abflußlosen Senke des abessinischen Grabens ist aber auch die Somali-Scholle im Quellgebiet von Djuba und Wabi Schebeli südöstlichen Steigungsregen ausgesetzt. Noch am Westabhang Zentralabessiniens nördlich des Tanasees traf ich westliche Steigungswinde an, die feuchte Nebelwaldvegetation erzeugen³⁶). Bis etwa 13° n. Br. ist jedenfalls die Westseite Äthiopiens viel feuchter als die gegen die Danakilwüste abfallende Ostseite. Aber dann ändert sich dieses Verhältnis.

In Eritrea, wo nur ein schmales Küstenland am Roten Meer entwickelt ist, und wo der eritreische Altipiano nahe an das Rote Meer herantritt, kommt ein höchst eindrucksvolles System von Gebirgswinden zwischen der Sohle des Roten Meergrabens und dem Hochlande zustande. Dadurch empfangen die steil nach Osten und Nordosten gerichteten Hänge des Hochlandes Regen und Nebel, die aber am Rande des sanft nach Westen geneigten Plateaus schlagartig aufhören. Die Klima- und Wettergrenze am Ostrande des Plateaus läßt sich an den Erscheinungen der Vegetation in Einzelheiten verfolgen. Sie setzt sich im Norden des Landes auf der Höhe der sog. Roren bis in die Nähe der Sudangrenze fort. Bei den ganz geringen zenithalen Sommerregen sind die winterlichen Steigungsniederschläge von größter Bedeutung für die Vegetation. Die Grenze ist also ein Gegenstück zu der am Ostrand der südafrikanischen Hochländer in den Drakensbergen festgestellten. Auch noch weiter nördlich herrscht ein solcher täglicher Luftausgleich zwischen dem Graben des Roten Meeres und dem Nubischen Hochland. Die sommerlichen Niederschläge vermögen dort im allgemeinen nur noch eine Wüstensteppe zu erzeugen. Die Nebelfeuchtigkeit der winterlichen Steigungswinde ist aber an einigen besonders exponierten Stellen so groß, daß noch immergrüne, hygrophytische Vegetationsinseln entstehen können, die ich als „Nebeloasen“ eingehend beschrieben habe³⁷). Solche durch tageszeitliche Ausgleichswinde bedingten Nebeloasen finden sich in den Bergen von Has Has halbwegs zwischen Tokar und Karora im Hinter-

land des Hafens Akik und ganz besonders bei Erkwit im Hinterland von Suakin, wo die Sudan-Regierung eine sommerliche Erholungsstation eingerichtet hat. Der allerletzte Ausklang dieser Nebelvegetation findet sich noch 200 km weiter nördlich im Hinterland des Hafens von Dongonaab im Elba- und Soturba-Gebirge, wo G. Schweinfurth 1864 und 1865 Wolkenbildung und Regen und eine Nebelvegetation mit abessinischen Ölbäumen und anderen immergrünen Holzarten antraf. Diese Wolken- und Nebelbildungen über dem Küstenland des Roten Meeres markieren das Nordende einer topographisch bedingten klimatischen Grenze, die wir durch die Hochländer des ganzen östlichen Afrika verfolgen konnten und deren anderes Ende im Süden mit dem Tafelberg bei Kapstadt gegen den Atlantischen Ozean ausstreicht. Sie kommt dadurch zustande, daß die Ostabdachung dieser Gebirgsländer auch in der Trockenzeit passatischen Luftbewegungen ausgesetzt ist, die sich mit Ausgleichswinden zwischen den Tiefländern und Hochländern koppeln. Nur im äquatorialen Bereich ist diese einseitige Exposition aufgehoben und herrscht eine bilaterale Symmetrie im klimatisch landschaftlichen Aufbau des Hochlandgürtels.

9. Die Steigungsniederschläge im Kapland.

Das Gebiet der sommertrockenen Vegetation des Kaplandes wird an seinem südlichen Rande, wo die steil abfallenden Berge des Kapfaltensystems in der Nähe des Meeres liegen, von Inseln immergrüner, nebelreicher Gehölze durchsetzt, die auf stärkere und ganzjährige Befeuchtung zurückgehen. Die Gehölze sind aus breitlorbeerblättrigen Bäumen, vor allem der Gattungen *Olea*, *Ilex*, *Ochna* und *Cussonia* zusammengesetzt, zu denen als Leitpflanze auch der Nadelbaum *Podocarpus latifolia* (Yellow Wood) hinzukommt, der durch seine verbreiterten Nadeln ebenfalls die Lebensform der Laurilignosa angenommen hat. Die Wälder sind bei der hohen Luftfeuchtigkeit auch reich an epiphytischen und Bodenfarnen sowie an Moosen und Flechten. Sie gleichen ökologisch und floristisch weitgehend den Höhenwäldern Ostafrikas bei etwa 2000 m. *Podocarpus latifolia* z. B. kommt vom Tafelberg bei Kapstadt bis Ostafrika vor. Bereits auf den höheren Bergen der Kaphalbinsel in nächster Nähe von Kapstadt finden sich in südöstlicher Auslage die ersten immergrünen Gehölze dieser Art (Abb. 6). Die Stadt selbst ist am leeseitigen, trockenen Nordfuß des Tafelberges gelegen. Die Süd- und Südostseite dieses Berges über den Vorstädten Newlands und Kirstenbosch erhält das drei- bis vierfache an Niederschlägen und zwar über das ganze Jahr verteilt. Kapstadt-Greenpoint in der Nähe des Hafens verzeichnet 492 mm Niederschlag an 67 Regentagen, davon 392 mm an 50 Regentagen in den Monaten April bis September. Demgegenüber hat Kirstenbosch am Südosthang des Tafelberges bei 75 m Meereshöhe 1457 mm Niederschlag an 117 Regentagen, davon 1163 mm an 78 Tagen im Winterhalbjahr. Am Ostrande des Tafelberges bei 1092 m Meereshöhe (Maclear's Beacon) wurden 1973 mm davon 1452 mm im Winterhalbjahr gemessen³⁹⁾. Das berühmte Tafeltuch von Kapstadt, die über die nebelreiche Hochfläche nordwärts herabhängende Wolkenwand ist eine regelrechte Föhnmauer. Die ständige Feuchtigkeit genießt nicht nur der Südosthang des Tafelberges mit seinen immergrünen Schluchtwäldern,

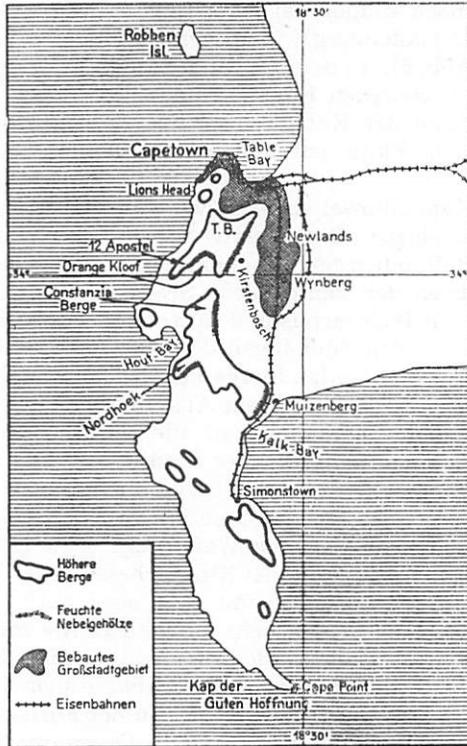


Abb. 6. Die Kaphalbinsel und die Lage der feuchten Nebelgehölze an den Südosthängen der hohen Berge (vgl. Text). T. B. = Tafelberg (Orig.).

sondern auch die von moorig-feuchten Heiden (Ericaceen-Restionaceen-Heiden) bedeckte Hochfläche, auf der das humose Wasser in Stauteichen für die Trinkwasserversorgung von Kapstadt gesammelt wird. Über die Niederschlagsbildung dieser Nebel und Wolken und namentlich auch über die Steigerung der Niederschlagsmenge durch die Vegetation hat der langjährig in Kapstadt ansässige Apotheker und Botaniker R. Marloth, der klassische Erforscher der kapländischen Vegetation, um die Jahrhundertwende genaue Beobachtungen angestellt³⁹⁾. Das Tafeltuch ist eine regelmäßige Erscheinung während der Südostwinde der sommerlichen Trockenzeit. Doch fehlt es auch in der winterlichen Regenzeit keineswegs ganz, wie ich während meines mehrtägigen Aufenthaltes in Kapstadt und Umgebung im Juli 1934 feststellen konnte. Namentlich gegen Abend, wenn die Westhänge des Berges noch von der Sonne erwärmt werden, die Osthänge aber schon lange im Schatten liegen, bildet sich das Tafeltuch häufig aus, also wohl als Wirkung eines tageszeitlichen Geländewindes. Die Stellen, wo an den Bergen der Kaphalbinsel der natürliche immergrüne, von Epiphyten behangene Wald entwickelt ist, sind die folgenden: 1. Der Südosthang des Tafelberges gegen Newlands und Kirstenbosch, besonders die Schluchten Skeleton Gorge, Window Gorge und Nursey Ravine; 2. die Südostflanke

der sog. Zwölf Apostel gegen die Orange Kloof; 3. die Südostseite des Bergvorsprunges Nordhoek südlich der Hout Bay; 4. an den Südosthängen der Constanziaberger (Vlakkenberg); 5. an den Steilhängen über der Kalkbay bei Muizenberg (Abb. 6). In dem feuchten regenreicheren Gebiet der Fußhänge des Gebirges zwischen Kapstadt und Muizenberg liegen auch die großen Aufforstungen der Kaphalbinsel mit *Pinus*, *Quercus*, *Eucalyptus* und dem der lokalen Flora entnommenen „Silver Tree“ *Leucodendron argenteum*.

Die Berge der Kaphalbinsel sind ein weit nach Westen vorgeschobener Vorposten des Kapegebirges. Erst jenseits der sog. Kap Vlakte beginnen mit den Hottentotts-Hollandbergen die höheren, über 1200 m aufragenden Kapegebirge, an denen der sommerliche SE-Passat ansteigt. Immergrüne Feuchtwaldinseln mit *Podocarpus* und *Cussonia* finden sich auch jetzt noch ganz vereinzelt, so an den Südhängen des Sneeuwkop östlich Sommerset, an den Südhängen der Groenlandberge bei Grabouw und an der Südseite der Zwartberge bei Caledon. Mit dem Ausklingen dieser Kette greift die sommerliche Steigungsfeuchtigkeit auf die nördlich folgende Gebirgskulisse, den Südhang der Rivier zonder Einde-Kette und nach deren Ausstreichen auf die Südhänge der Langeberge über (Abb. 7). Von Montagu ab, wo die Langeberge ostwärts von keiner höheren Kette mehr beschattet sind, ist ihre Südseite von feuchten Waldinseln begleitet und der Kamm des Gebirges übernimmt die Rolle der Klimascheide gegen die kleine Karru. In der südlichen Küstenebene nimmt nun aber auch die sommerliche Feuchtigkeit ostwärts mehr und mehr zu, gleichzeitig mit dem Auftreten auch sommerlicher westlicher Winde. Nordwestlich Heidelberg am Südfuß der Langeberge liegt der erste größere Feuchtwald vom Typ der *Podocarpus*-Nebelwälder im sog. Grootvadersbosch. In der Fortsetzung der Langeberge übernehmen nördlich der Mosselbay die Outeniquasberge und weiter die Zizikamaberger die Rolle der Klima- und Wetterscheide. Bei George beginnt das große Feuchtwaldgebiet des Kaplandes, das nach dem Städtchen Knysna gewöhnlich als Knysna Forest bezeichnet wird. Die klassische, wenn auch kurze Beschreibung, ist bei R. Marloth⁴⁰⁾ gegeben, eine genaue pflanzensoziologische Analyse hat später John Phillips⁴¹⁾ veröffentlicht. Der Wald erstreckt sich von George über 200 km nach Osten bis dorthin, wo die Zizikamakette südlich Humansdorp gegen das Meer ausstreicht. Auch noch auf der nördlich folgenden, gegen Port Elisabeth ausstreichenden Kette der Elandsberge kommen auf der Südseite in tiefen Schluchten kleine Flecken immergrünen Waldes (mit *Ocotea* = „Stink Wood“) vor, worüber Schönländ kurz berichtete⁴²⁾. Auch der Knysnawald erreicht die Küste nicht, er nimmt nur die unteren Hänge der Bergkette und deren unmittelbares Vorland ein. Botanisch gehört er zum gleichen Typ wie die kleinen Waldinseln im westlichen Kapland, doch ist er floristisch wesentlich reicher und physiognomisch viel üppiger entfaltet. Während der Knysnawald etwa 35 Bäume beherbergt, sind es im Grootvadersbosch nur 26 und am Tafelberg nur 18 (nach Marloth). Die zahlenmäßig am stärksten vertretenen Baumarten sind *Olea laurifolia*, *Gonioma Camassi* und *Podocarpus latifolia*. Der Wald ist hier an das Gebiet mit Regen zu allen Jahreszeiten und an eine jährliche Regenmenge von über 750 mm bei hoher Luftfeuchtigkeit gebunden. Nach den Beobachtungen bei Deepwalls in 500 m Meereshöhe überwiegen die Nordwest- und Südostwinde alle anderen Richtungen und zwar sind die Nordwestwinde

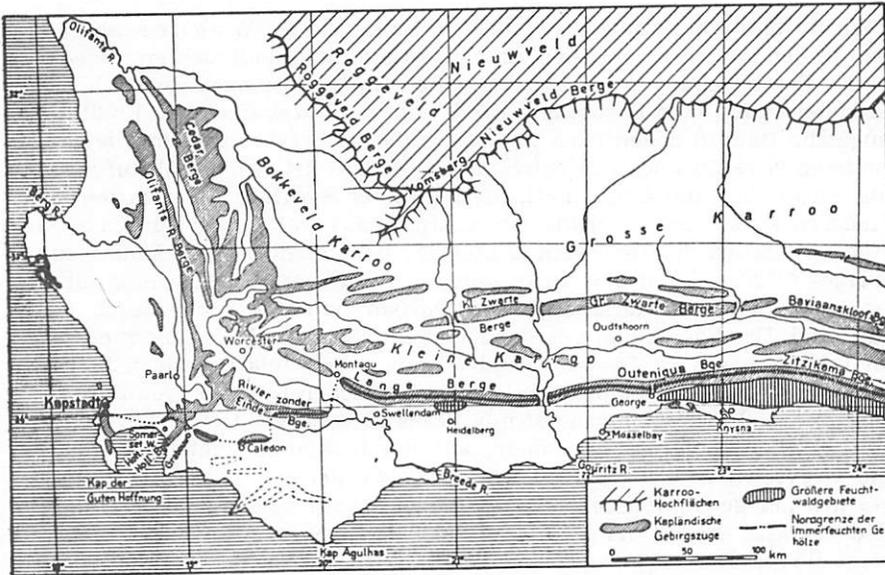


Abb. 7. Die Nordgrenze der immerfeuchten, temperierten Gehölze im westlichen Kapland (Orig.).

Zwischen Tafelberg und Mosselbay kommen diese Gehölze nur in kleinen isolierten Inseln an südexponierten Berg- und Gebirgshängen vor, weiter östlich in der geschlossenen Zone des Knysna-Waldes.

weitaus herrschend in den Monaten Mai bis Dezember, während von Januar bis April Südost- und Nordwestwinde abwechseln, bei einem Übergewicht der ersteren. Daneben spielen allerdings auch föhnartige Winde eine Rolle, die besonders im Winter aus dem trockenen Hinterland der Karro zur Küste wehen und gelegentlich Dürreperioden verursachen, die das Gedeihen der Wälder bedrohen (nach Phillips). Die klima- und landschaftsscheidende Wirkung der Outeniquaberge läßt sich auf einer Eisenbahnfahrt von Oudtshoorn über den Montagu-Paß nach George vorzüglich verfolgen. Die Karrulandschaft von Oudtshoorn geht mit dem Anstieg an der Nordseite des Gebirges in Fynbosch mit *Proteaceen*, *Ericaceen*, *Compositen* und *Restionaceen*, aber ohne Baumwuchs, über. Von der Südseite dagegen steigen Nebelgehölze in den Talschluchten bis zur Paßhöhe hinauf. Die Hänge dazwischen zeigen weithin Spuren des Brandes, vor allem durch die ausgedehnten Bestände von Adlerfarn (*Pteris aquilina*). In den unteren Hangpartien bis etwa 500 m Höhe sind die meisten Flächen aufgeforstet mit subtropischen Kiefern (*Pinus pinaster* und *P. insignis*) und Eucalypten. In den Schluchten hat sich auch hier der natürliche Wald erhalten.

An der Südküste Afrikas handelt es sich also nicht um Ausgleichwinde, sondern um normale Steigungswinde an den Gebirgsketten, die eine Vermehrung der Feuchtigkeit zur Folge haben.

10. Die Ostabdachung des südafrikanischen Hochlandes in Natal.

Ein System von Ausgleichswinden im Sinne von A. Wagner, ähnlich dem in den südamerikanischen Anden festgestellten, läßt sich erst wieder an der Ostabdachung des südafrikanischen Hochlandes nachweisen. In die Landabdachung vom Basutoland zur Küste von Natal sind tiefe Flußtäler eingeschnitten, in denen nach unseren früheren Erfahrungen mit der besonderen Wirkung auch von Talwinden zu rechnen ist. Um die Abstufungen von Vegetation und Landschaft, die bei dieser Sachlage zu erwarten ist, studieren zu können, besuchte ich im Juni 1934 Natal. Es wurden zwei Profile zwischen dem höchsten Gipfel des Basutolandes, dem Mount aux Sources (3280 m), und der Küste untersucht, die freie Abdachung über Estcourt und Pietermaritzburg nach Durban und das Profil durch das Tugelatal. Das Land steigt von der Küste in mehreren Stufen bis zum Fuß der Drakensberge an. Der Küstengürtel mit seinem feuchtwarmen Klima, seinen immergrünen Wäldern und seinen tropischen Kulturen von Zuckerrohr, Tee und Fruchtbäumen ist nur 10 bis 15 km breit. Der erste Anstieg führt zur Midveld-Terrasse empor, auf der Richmond, Pietermaritzburg und Greytown in 650 bis 1000 m Meereshöhe gelegen sind. Unmittelbar westlich der genannten Orte steigen die Berge zur nächsthöheren Hoogveld-Terrasse an, auf der in 1100 bis 1250 m die Städte Howick, Estcourt, Bergville und Dundee gelegen sind. Durch einen Anstieg der Karkloofberge bei Nottingham Road zwischen Pietermaritzburg und Estcourt kann man auch eine nochmalige Teilung der oberen Stufen vornehmen. Über der höchsten Terrasse steigt dann im Natal National Park die Mauer der Drakensberge in einem Zuge äußerst imposant auf, gegen das Basutoland mit einer Sprunghöhe von fast 2000 m, gegen das Oranje-Hochland bei Harrismith mit etwa 800 m.

Besonders klar ist die orographische Gliederung des Tugela-Gebietes. In seinem Einzugsgebiet unterscheidet sich scharf das weitausladende Gewässernetz seines Oberlaufes von seinem Unterlauf, der nur kurze Nebenflüßchen erhält. Der Oberlauf sammelt seine Wasser von den Abfällen der Drakensberge vom Giants Castle bis zum Klein Drakensberg in einem weiten Becken des Hochvelds, das sich ostwärts gegen die Mündungen des Mooiflusses und Buffaloflusses unter 1000 m absenkt. Dieses Becken wird im Osten halbkreisförmig abgeschlossen durch eine Kette von hohen Bergzügen, die vom Giantscastle über Spioenkop, Karkloofberge, Qudeniberge, Nqutu- und Belelasberge reichen. Das Tugelatal durchbricht diese Kette unterhalb der beiden genannten Flußmündungen (Abb. 8). Dadurch, daß von Norden die 1700 m hohen Qudeniberge, von Süden die Höhen von Greytown-Kranskop gegen das Tal vortreten, entsteht eine ziemlich enge Pforte mit einem beträchtlichen Höhenprofil. Von dort ab ostwärts senken sich die Höhen relativ rasch zur Küste ab, so daß man vom Kranskop frei zur Küste blickt und das Tugelatal allmählich seine Tiefe verliert. Wir können also im Längsverlauf des Tugela das weite obere Tugelabecken, das Tugeladurchbruchstal und das untere Tugelatal unterscheiden. Man vergleiche meine Darstellung des Landschaftsaufbaues von Natal, die ich früher gegeben habe⁴³).

Das Klima von Natal ist ausgezeichnet durch den Gegensatz eines regen- und gewitterreichen Sommers von Oktober bis April und eines trockenen Winters von Ende April bis Mitte September, durch den die herrschende

Vegetationsformation, das Grasveld bedingt ist, das im Winter gebrannt zu werden pflegt. Die Regenmengen betragen im allgemeinen im Middelveld 900 bis 1150 mm, im Hoogveld 750 bis 850 mm, mit der Annäherung an die Drakensberge (Newcastle) wieder 950 mm. In Tal- und Beckenlage sinken die Niederschlagsmengen unter diese Werte und an die Stelle des normalen Grasvelds tritt dann das von Dornbüschen, Dornbäumen (*Acacia*) und Sukkulenten (*Aloe*, *Euphorbia*) durchsetzte Thornveld, wie im Becken von Pietermaritzburg (850 mm N) oder im unteren Teil des Tugelabeckens (Weenen mit 690 mm N)⁴⁴.

Die genannten normalen Regenwerte werden aber durch die Geländeeinwirkungen nach beiden Seiten hin beträchtlich variiert. Die besten Vorstellungen über den Klimaablauf im Natal vermittelt uns immer noch das alte Werk von R. J. M a n n⁴⁵). Der Winter, der von April bis September dauert, weist eine beträchtliche tägliche Schwankung der Temperaturen auf. In Pietermaritzburg beträgt sie 14 bis 14,5 C (Minimum 4,4 bis 7,2 C, Tagesmaximum 18,9 bis 21,1 C). Von Vormittag 8 bis 9 h bis zum Abend scheint normalerweise die Sonne und nur gelegentlich ziehen einige Cumuluswolken über den Himmel. In den sechs Wintermonaten des Jahres 1858 gab es 83 Tage mit ununterbrochenem Sonnenschein und nur 24 Tage mit voller Wolkenbedeckung. Die nächtliche Abkühlung erzeugt eine hohe relative Luftfeuchtigkeit und morgens ist der Himmel durch leichten Nebel verdeckt. Die Frostgrenze wechselt entsprechend der Geländegestaltung. Im Becken von Pietermaritzburg tritt bei 850 m schon gelegentlich Frost auf, aber schon der Botanische Garten in geschützter Hanglage ist frostfrei und am Anstieg gegen Cedara sind günstige Lagen noch bis 1000 m ohne Frost. Der Zwartkop (1450 m) hat gelegentlich, wenn auch nicht alljährlich im Winter Schneefall und trägt dann morgens eine weiße Haube. In dieser Jahreszeit — es ist die Zeit des Winterpassats, weht regelmäßig während der Tagesmitte ein kühler Südostwind vom Meer in das Binnenland. Aber umgekehrt weht auch allgemein morgens und abends ein leichter West- oder Nordwestwind, der gegen Mittag von einem stärkeren Südost abgelöst wird. Im Winter 1858 wehte der nachmittägliche Südostwind an 141 Tagen. Es ist also die passatische Luftbewegung mit einem Tageszeitenwind gekoppelt, den wir an der Küste als Land- und Seewind, tiefer im Binnenland aber wohl nur als Ausgleichswind zwischen Tiefland und Hochland auffassen können. In der sommerlichen Jahreszeit schwankt die Temperatur im Tagesgang viel weniger als im Winter, etwa 5,5 bis 9,5°. Sie beträgt im nächtlichen Minimum 16,7 bis 19,4 C und im Tagesmaximum zwischen 22,2 und 28,9 C. Der Tag beginnt gewöhnlich mit klarem Himmel und Sonnenschein. Die Tageserwärmung erzeugt eine starke konvektive Luftbewegung, Cumulo-Stratuswolken und meist Gewitterregen am Nachmittag (im Sommer 1858/59 an 80 Tagen). Auch im Sommer weht sehr regelmäßig in den Mittagsstunden ein frischer Südostwind über das Land. In Pietermaritzburg war dies im Sommer 1858/59 um 3 h nachmittags an 160 Tagen der Fall. Der Ausgleichswind ist also auch in der Sommerzeit vorhanden und verstärkt damit die Wirkung der südöstlichen Regenexposition der Landabdachung. Von Zeit zu Zeit treten in Natal sehr trockene, heiße Fallwinde aus Nordwesten auf, die meist nur 8 bis 10 Stunden, selten über einen Tag andauern und die Küste nicht erreichen. Sie steigern die Temperaturen auf 30 bis 35° und darüber und sind besonders am Ende der winterlichen Trockenzeit von September ab, manchmal auch schon im

August sehr unangenehm. Im meteorologischen Jahr 1858/59 sind sie achtzehnmal aufgetreten. Sie verursachen dann u. U. verderbliche Grasbrände. Die nach Südosten gekehrten Hänge sind gegen sie weitgehend geschützt. Es kommt dann noch die im subtropischen Südafrika sehr starke Strahlungsexposition hinzu, die den Südseiten einen merklichen Schutz vor Austrocknung gewährt.

Die weitere klimatologische Differenzierung des Landes, die Wirkung der Steigungsniederschläge und der lokalen Winde, lehrt uns besser als ein meteorologisches Tabellenwerk die Beobachtung der Vegetation. Die südöstlichen Winde werden an den Steilstufen der Landabdachung zur Abgabe größerer Niederschläge im Winter und Sommer gezwungen. Sie verursachen dort auch während des Winters Luftfeuchtigkeit und Nebelregen. An diesen Steilhängen finden sich zwischen die relativ feuchten, baumfreien Grasflächen (Themeda-Grasland) in großer Zahl Inseln feuchten Waldes eingestreut. Sie liegen mit Vorliebe in die Täler, Schluchten und Quellmulden eingeschmiegt oder ziehen sich am Fuß von Steilhängen hin, manchmal aber nehmen sie auch größere Areale ein wie in den Qudenbergen und Nkandhlbergen. Die gesamten Feuchtwälder, die von der Küste bis an die Abhänge der Drakensberge bei über 2000 m Höhe vorkommen, hat J. W. B e w s⁴⁶⁾ in drei Höhenstufen geteilt, die aber untereinander sehr nahe verwandt sind. Der Feuchtwald des Küstengürtels bis etwa 450 m Höhe hat als herrschende Baumarten *Albizia fastigiata*, *Rhus longifolia* und *laevigata*, *Trichilia emetica* und *Eugenia cordata*. Seine Verwandtschaft weist am stärksten nach dem tropischen Ostafrika. Die Feuchtwaldinseln des Midlands von 600 bis 1200 m Höhe sind bei größerer Ausdehnung vor allem aus den beiden Arten von Yellow Wood (*Podocarpus latifolia* und *elongata*) und *Olea laurifolia* gebildet. In den kleineren Waldinseln treten *Combretum Craussii*, *Calodendron capense* und *Xymalos monospora* in den Vordergrund. Der Wald hat die größte Ähnlichkeit mit den Feuchtwäldern der Kapprovinz (s. oben), auf der anderen Seite aber auch mit den Höhenwäldern des tropischen Ostafrika. Der Bergwald der Drakensberge, der ebenfalls ganz vorwiegend in den Tälern und Schluchten sich findet, zwischen dem von Protea-Bäumchen durchsetzten Gebirgsgrasland, enthält als Leitart *Podocarpus falcata* neben *Myrsine africana*, *Leucosidea sericea*, *Erica arborea*, *Rapanea melanophloeos* u. a. Für die klimatischen Verhältnisse der Höhenwälder des Midlands mag die Station Qudeni Forest über dem Tugelatal eine Vorstellung vermitteln. Es fallen dort jährlich 1223 mm Niederschlag an 210 Regentagen (im Vergleich zu 850 mm an 122 Tagen in Pietermaritzburg), davon entfallen auf die sechs Wintermonate 274 mm (in Pietermaritzburg 157 mm)⁴⁷⁾. Die ökologische Feuchtigkeit ist aber infolge der Nebelwirkung sicher noch beträchtlich größer.

In größtem Gegensatz zu den feuchten Höhen steht der trockene Grund des Tugelatales. Schon im Tugelabecken unterhalb Escourt und Ladysmith, aber auch im unteren Tugelatal nicht allzuweit von der Mündung wird das Grasveld vom Thornveld abgelöst. Aber im tief eingesägten Durchbruchstal zwischen den Qudenbergen und Kranskop und noch weiter aufwärts in die Nebentäler des Mooi- und Buffalo-Flusses hinein herrscht darüber hinaus eine Trockenheit, wie sie sonst an keiner Stelle N a t a l s v o r k o m m t. An den Straßen, die von Greytown nach Dundee und von Kranskop nach Vryheid über das Tugelatal führen, erlebt man eine äußerst trockene Karru-Vegetation, wie man sie hier im Osten Südafrikas

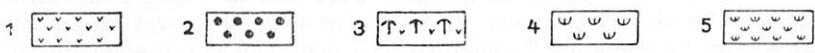
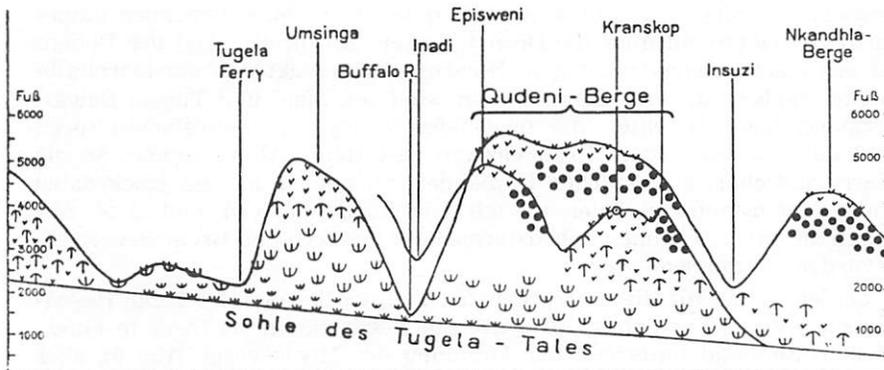
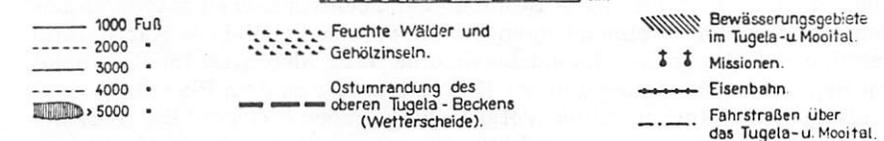
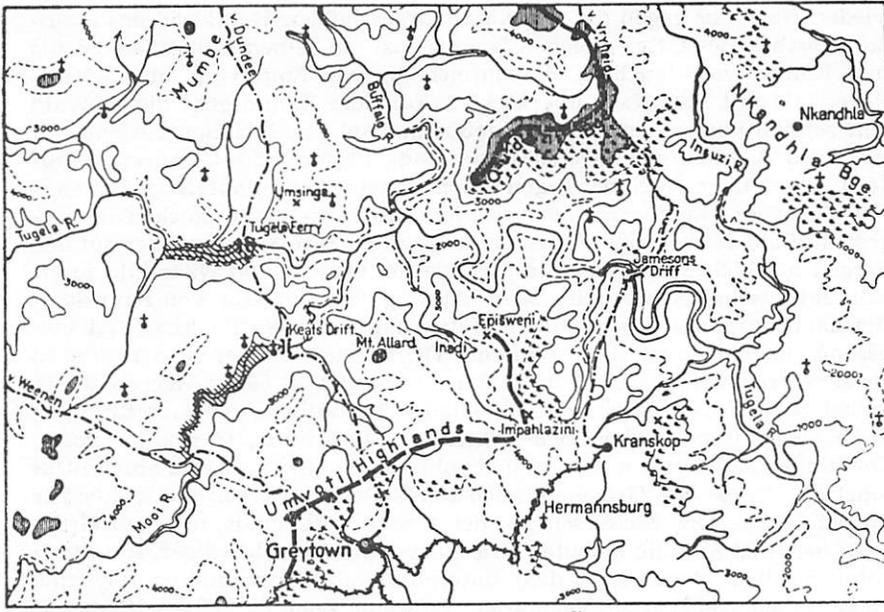


Abb. 8. Landschaftsausschnitt und Landschaftsprofil aus dem mittleren Natal beiderseits des Tugela-Flusses und des Tugela-Durchbruchstaes (Orig.).
 1. Höhengrasland (bes. Themeda) des Highveld; 2. Feuchte Höhenwälder und Schluchtwälder (temperierte Regenwälder); 3. Thornveld; 4. Sukkulente-Dornwald mit Baum-Euphorbien und Baum-Aloë; 5. Schütterer Sukkulentebusch (Euphorbien, Aloë, Stapelia, Cotyledon usw.) der Halbwüste (Karru-Typ).

nicht vermuten möchte. Karte und Profil von Abb. 8 geben die Verhältnisse wieder. Noch der gegen das Tugelatal vorgeschobene Bergkegel des Kranskops östlich des Ortes gleichen Namens ist an seinen Südostflanken bis zum Kamm von feuchten, lianenreichem, von Epiphyten überladenen Nebelwald mit Baumfarn überkleidet. Auf dem Kamm geht dieser Wald sehr schnell über einen Ericaceengebüschgürtel in ein Höhen Grasland mit einzelnen Bäumen von *Greyia sutherlandi*, *Protea* und *Combretum* auf der Leeseite über. Auch der gegen Osten exponierte Steilabfall des Plateaus von Episweni-Impahlazini nordwestlich Kranskop trägt solchen immergrünen Wald. Noch größere Ausdehnung haben diese Feuchtwälder auf den Bergen nördlich des Tugelatales, wo sie bei Qudeni und Nkandhla forstlich bewirtschaftet werden. Beim Abstieg vom Plateau von Kranskop-Hermannsburg, das von forstlichen Pflanzungen der Wattle-Akazie (*A. mollissima*) überzogen ist, nach Jamesons Drift treten wir bei etwa 1000 m in ein schon recht trockenes Tree Veld, bei etwa 500 bis 600 m Meereshöhe in xerophytischen Dornbusch mit Kandelaber-Euphorbien, der baumförmigen *Euphorbia Tirucalli*, der stachelblättrigen *Aloë ferox*, *Cussonia spicata*, *Caesalpinia sepiaria* u. a. ein. In den vollen Kern des Trockentalabschnittes führt die Straße von Greatown nach Keats Drift am Mooi und weiter zur Tugela Ferry. Die Wasserscheide der Umvoti Highlands nördlich Greytown begrenzt hier die feuchten Grasfluren und Schluchtwälder. Am Steilabfall nördlich davon nach dem unteren Mooital durchqueren wir eine Folge immer trockenerer Vegetation. Erst eine Zone des Thorn Velds mit kleinen Akazien, dann dichte Bestände der abenteuerlichen stammbildenden *Aloë ferox* mit brennend roten Blüten, bereits ein Bild der Karru. Bald gesellen sich die großen Euphorbienbäume dazu, deren Bestände einmal vor dem ersten Weltkrieg und der Kautschukkrise zu dem Plan einer Ausbeutung für Naturkautschuk Veranlassung gaben. Gegen die Talsohle wird die Vegetation immer schütterer und niedriger, die Sukkulentengewächse (kleine *Euphorbien*, *Aloë*, *Staplien*, *Cotyledon*) gewinnen immer mehr die Oberhand über die Dornsträucher. Ein großer Teil des Bodens ist mit einer polsterstrauchigen *Blepharis* überdeckt. In der Dornhalbwüste weiden nur noch Ziegen, dafür sind am Mooi und Tugela Bewässerungsanlagen errichtet, die im Golden Valley u. a. Apfelsinenkulturen und auf Luzerneweiden Straußenzucht gestatten. Alles erinnert an die Karrulandschaft des östlichen Kaplandes, aber auch an die trockensten Valles der ostandinen Täler, wo wir uns die Euphorbien und *Aloë* nur durch die entsprechenden Lebensformen der Kakteen und Bromeliaceen ersetzt denken müssen.

Leider stehen für diesen trockensten Teil des Tugelatales keine Regemessungen zur Verfügung. Die nächste Regenstation ist Inadi in einem kleinen Seitental unterhalb der Mündung des Mooi (vergl. Abb. 8), aber bereits in einer Höhe von 650 m gelegen. Dort sind in 10jährigem Mittel 652 mm Niederschlag gemessen, davon 550 mm in den sechs Sommermonaten. Für die Sohle des Tugelatales darf man danach mit einer Regenmenge von weniger als 500 mm, vielleicht 400 mm rechnen. Keinerlei Beobachtungen liegen bisher über die Auswirkungen des Tugeladurchbruchs auf die Winde vor. Sowohl das Verhalten der talaufwärts gerichteten Tageswinde wie der gelegentlichen föhnrartigen Fallwinde wäre im Zusammenhang mit den in der Vegetation zum Ausdruck kommenden Gegensätzen von besonderem Interesse.

11. Der Rand des ostafrikanischen Hochlandes.

Eine recht ähnliche Situation wie im Tugelatal Natal — ein von Durchbruchstätern zerschnittenes, klimascheidendes Bergland — treffen wir in Ostafrika am Abfall des zentralen Hochlandes gegen die Küstenebene an. Das Küstentiefland, aus dem sich das Ulugurugebirge als steiler Horst erhebt, stößt gegen Westen mit der Mkattaebene, die der Wami durchfließt, und der Ulangaebene, die der Kilombero entwässert, an eine steil aufragende Kette von Bergländern, die Große Randstufe Ostafrikas (Abb. 9). Ihr aufgewulsteter Rand bildet die Bergländer von Unguru, Kaguru, Ussagara-Rubeho und Uhehe-Utschungwe (Iringa), die mehrfach 2000 m überschreiten. Die westlich anschließende Landschaft Ugogo senkt sich als Pultscholle nach Westen wieder unter 1000 m ab, um bei Kilimantinde in einer zweiten Bruchstufe zum zentralen Hochland von Unjamwesi anzusteigen. Die große Randstufe wird von zwei tiefen Quertälern zerschnitten, dem Tal des Großen Ruaha und dem Tal des Kinjassungwe-Mukundokwa, dem die Zentralbahn von Kilossa aufwärts folgt. Auf der ganzen Länge des Gebirges wird der SE-Passat zum Aufsteigen gezwungen und es entwickelt sich in allen genannten Gebirgen immergrüne Regenwälder, bei Mhondaturiani am Fuß der Unguruberge bereits von der Ebene an, weiter südlich erst in größeren Höhen. Dadurch entstehen keine geschlossenen Waldgürtel, sondern einzelne an die höheren Aufragungen, Kämme, Plateaus und Einzelberge geknüpfte Inseln von feuchtem Höhenwald. Über den höchsten Kamm des Gebirges an dem der sanfte Abfall gegen das Binnenland beginnt, verläuft auch hier die Binnengrenze der Regen- und Nebelwälder, klimatisch die Westgrenze der die Berge befeuchtenden Nebelwolken. Für das Bergland von Uhehe-Utschungwe habe ich früher gezeigt⁴⁸⁾, daß diese Landschaftsgrenze fast genau mit der Wasserscheide zusammenfällt. Die aus der Zeit zwischen den beiden Weltkriegen stammenden europäischen Siedlungskolonien von Mufindi und Iringa halten sich an diese Grenze. Sie liegen z. T. als Rodungspflanzungen im Bergwald, z. T. als Mischfarnen im offenen Grasland der Westabdachung. Es folgen dort von SE nach NW vier Zonen aufeinander: das vom Gebirgsfuß her zertalte Randbergland der Regenwaldzone, das sich daran anschließende feuchte Höhen Grasland mit Termiten-Waldinseln, weiter die Zone der laubwerfenden Miombowälder und schließlich die Dornwälder in der Ebene des oberen Ruaha. Die Reihenfolge entspricht im Feuchtigkeitscharakter der für das Tiefland aufgestellten klimatischen Reihe Regenwald — Feuchtsavanne — Trockensavanne — Dornsavanne. Jenseits des Ruaha-Durchbruchstaes verläuft die Grenze weiter nach Norden über den Horst von Nsogiro-Mangalissa und über die Woda-Berge. Beiderseits des Kinjassungwe-Tales bei Mpapwa tragen der 1722 m hohe Gulwe-Berg im Süden und der 1850 m hohe Kibariani im Norden nur auf der höchsten Höhe Hauben von feuchtem Nebelwald⁴⁹⁾. Es sind die letzten Vorposten feuchten Waldes gegen die Trockenlandschaft Ugogo (Abb. 9, Profil). Die untere Grenze des Wolkengürtels steigt also gegen NW stark an und mit dem Absinken des Landes in der gleichen Richtung streicht sie gewissermaßen in die Luft aus. Zwischen den Kaguru- und Unguru-Bergen ist die Randschwelle so tief eingesenkt, daß sie nur von Miombo-Trockenwald bestanden ist. Diese niedere Schwelle benutzt die Straße von Morogoro nach Mpapwa und Dodoma. An ihr tritt man 5 km westlich der Mission Mamboja aus den mesophyti-

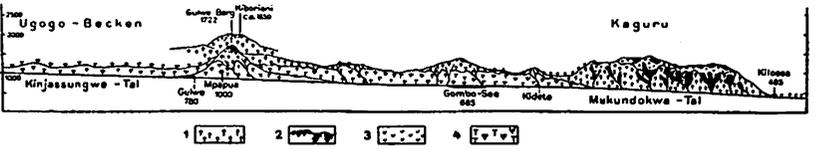
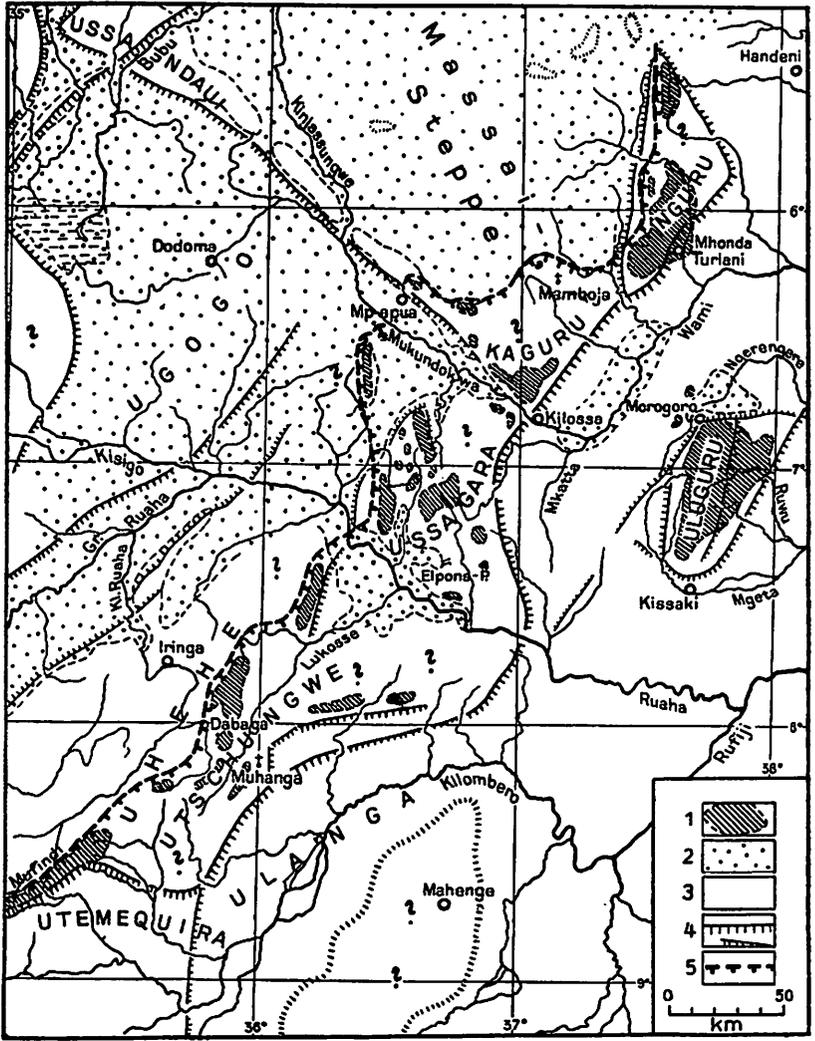


Abb. 9. Karte: Die Große Randstufe Ostafrikas (Orig.). Profil: Die Vegetationsverteilung längs des Tales von Kinjassungwe-Mukundokwa.

Karte: 1. Inseln feuchten Waldes, 2. Gebiet der Dornsavanne und Dornsavannenwälder, 3. Gebiet der Feuchtsavannen und Miombowälder, 4. Bruchstufen, 5. Westgrenze der passatischen Steigungsniederschläge und Feuchtwälder auf der Großen Randschwelle.

Profil: 1. Feuchtsavannen und Miombowälder, 2. Feuchte Höhenwälder, 3. Höhengrasland, 4. Dornsavanne und Dornwald

schen Miombo-Wäldern plötzlich in der xerophytische Dornsavanne mit Beständen von *Acacia spirocarpa*, *Commiphora*, *Adansonia* und Kandelaber-Euphorbien, 25 km weiter westlich zwischen Geilo und Mlali an den Südrand der ebenen Masai-Steppe. Die Grenze des Miombo-Waldes gegen die Dornsavanne ist auch die Grenze zwischen dem Tsetse-verseuchten und Tsetse-freien Land, daher auch die Grenze zwischen den reinen Hackbauvölkern mit ihren Kegeldachhütten und den Hirtenvölkern des Binnenlandes mit ihren Tembengehöften.

Die größte Trocknis dieses ganzen Gebirgszuges findet sich wiederum gesetzmäßig in den beiden Durchbruchstälern, im Mukundokwa-Tal bei Kidete und im Ruaha-Tal oberhalb und unterhalb der Mündung des Lukosse. Im Mukundokwa-Tal kann man die Erscheinung entlang der Eisenbahn Kilossa-Dodoma vorzüglich studieren. Kilossa, am Austritt des Flusses in die Mkatta-Ebene bei 495 m und auf seinem Schwemmkegel gelegen, hat feuchtes Savannenklima. In der natürlichen Vegetation spielen die Bäume *Kigelia africana* und *Sterculia appendiculata* eine große Rolle. Der Ort ist das Zentrum üppiger Kulturen von Mais, Durrah, Manihot, Baumwolle, Sisal und Kapok. Nach dem Eintritt in das Tal beobachtet man bald eine Zunahme der Trockenheit im Talgrund. Bis km 308, d. i. 18 km vom Gebirgsrand, ist die Talsohle von Galeriewald mit viel Ficus und von Mais- und Durrah-Kulturen eingenommen. Die Hänge tragen Savannengehölze, vorwiegend schon Miombo-Wald oder die durch Holzschlag daraus entstehenden offenen Combretum-Anona-Savannen, in den Schluchten dazwischen auch immergrünen Wald. In größerer Höhe bei etwa 1300 bis 1400 m auf den Kaguru-Bergen geht die Vegetation in baumfreies, feuchtes Höhengrasland über, in das fleckenweise immergrüne Höhen- und Nebelwälder eingestreut sind, ganz vom Charakter der Höhenwälder von Iringa. Oberhalb der eigentlichen Engtalstrecke bei km 308 erreichen wir im Talgrund die Trockengrenze und die xerophytische Dornvegetation. Die ersten Adansonien (Baobab) stellen sich ein, die Gehölze sind besonders aus Acacien, *Commiphora*, *Euphorbia Tirucalli* und *Bussei*, *Balanites*, *Grewia* usw. gebildet, auch der Auenwald am Fluß setzt sich vorwiegend aus fiederlaubigen Leguminosen (*Acacia campylacantha*, *Albizzia*, *Tamarindus*) zusammen. Talaufwärts nimmt der Dorn- und Sukkulentenwald (vom Caatinga-Typus) immer höher hinauf von den Hängen Besitz, bei Mpapwa am Südhang des Kibariani geht er erst in 1160 m in Miombo-Wald über⁴⁹). Die größte Trockenheit im Talgrund scheint bei Kidete unterhalb des Gombo-Sees erreicht zu sein. Dafür spricht, daß dort der Anteil der sukkulenten Pflanzen am stärksten ist. Unter den Lianen erscheint die sukkulente Ranke *Cissus quadrangularis* und der Dornbusch ist dicht von *Sansevieria* unterwachsen, die hier in früheren Jahren zur Fasergewinnung ähnlich wie Sisal ausgebeutet wurde. Der Boden ist weithin mit Kalkkrusten überzogen. Die sommerlichen Regen verursachen in dem ausgedörrten Land eine beträchtliche Bodenabspülung, zerschluchten die Hänge und verschütten die Talsohlen. Der Romuma hat durch seinen Schwemmkegel den Gombo-See aufgestaut und sich bei Hochwasser immer wieder neue Betten gegraben, was schließlich nach dem größten Hochwasser 1930 zur Verlegung der Eisenbahnlinie geführt hat⁵⁰). Die Baumwollkulturen von Kidete stehen unter künstlicher Bewässerung.

Der vertikale Aufbau der Vegetation stellt sich also in folgender Form dar (Abb. 9, Profil). Vom Ostrand des Gebirges schiebt sich ein Gürtel von

immergrünem Wolkenwald über dem Tale nach Westen vor. Seine untere Grenze, die durch die Kondensationsgrenze der Wolken angezeigt ist, steigt dabei allmählich an, zuletzt bei Mpapwa auf 1700 bis 1800 m. Umgekehrt schiebt sich vom trockenen Innern von Ugogo im Grunde des Tales das Trockenklima weit nach Osten vor und verstärkt sich dabei im Tale von Kidete zu seiner größten Trockenheit. Die Situation entspricht also vollkommen den in den Andentälern angetroffenen Verhältnissen. Wir wissen aber noch nichts darüber, wie sich tageszeitliche Winde, die gegen das Hochland wehen, im Grunde des Tales im einzelnen verhalten. Es wäre daher auch hier erwünscht, das Verhalten der Talwinde in der Trockenzeit und Regenzeit zu beobachten und den Zusammenhang mit den Niederschlagsverhältnissen klarzustellen, was entlang der Eisenbahnlinie sehr leicht zu bewerkstelligen wäre.

Ganz ähnlich liegen die Dinge im Ruaha-Tal. Wir können sie auf einer Fahrt von Kilossa nach Iringa durch das östliche Ussagara über den Elponspaß studieren. Die größeren Höhen dieses Gebirges, im allgemeinen über 1500 m Meereshöhe, tragen Hochweiden und feuchte Höhenwälder, und zwar bis zu der oben bezeichneten Westgrenze gegen das Becken von Ugogo, so vor allem der Pala Ulanga, in besonderer Üppigkeit das Makonde-Gebirge und das Buga-Hochland⁵¹). In den tieferen Lagen vollzieht sich der Übergang vom feuchteren Osten zum trockenen Innern. Der Elponspaß bildet auf dieser Strecke eine Klima-, Landschafts- und Kulturgrenze. Die nach Osten gekehrten Täler von Ussagara sind relativ feucht, tragen weithin Savannen und Miombo-Gehölze, in den feuchten Niederungen auch Galeriewald mit *Chlorophora excelsa* und Papyrussümpfe, auf den trockenen Schwemmkegeln Haine von *Acacia campylacantha*. Auf der Westseite des Elponspasses aber führt der Abstieg in das Ruaha-Tal sehr schnell in die Trockenregion hinab. Als erste Künder der Trockenheit tritt uns wieder der Baobab entgegen. Der Wald geht in Dornwald über, sukkulente Euphorbienbäume (*Eu. Bussei*), dornige Balsambäume (*Commiphora*), schirmkronige Akazien und *Poinciana elata*, sukkulente Cissulianen (*C. quadrangularis* und *rotundifolia*) und der Unterwuchs von *Sansevieria* beherrschen das Pflanzenkleid. Die trockenen Alluvialebenen sind von *Acacia spirocarpa* bestanden, die Sumpfniederungen von Hainen mit Sycomoren und *Acacia campylacantha* gesäumt. An die Stelle der Kegeldachhütten der hackbauenden Wassagara stoßen wir schon nördlich des Ruaha auf die Temben der viehzüchtenden Wahehe, die hier im offenen Dornbusch mit ihren Ziegenherden über den Fluß vorgedrungen sind. Daneben treiben sie in den Talniederungen etwas Ackerbau mit Bewässerung. In der Talregion von Marore fanden wir den Boden von mächtigen weißen Kalkkrusten überzogen, die mit den Schalen einer Landschnecke gespickt sind. Die Parallele mit dem Mukundokwa-Tal bei Kidete ist also eine vollkommene. Wie dort, setzt sich das Trockengebiet fluslaufwärts in die Dornsavanne des Binnenlandes fort, während sie flusabwärts gegen den Gebirgsrand von feuchteren Landschaften abgelöst wird.

Im Zusammenhang mit den trockenen Durchbruchstätern Ostafrikas wird unser Blick auch auf die niederschlagsärmste Stelle in ganz T a n g a n y i k a gelenkt, die Siedlung Kihuiro, die in dem schmalen Korridor zwischen den Hochländern von Westusambara und Südpere gelegen ist (Abb. 10). Die 3½jährigen Regenmessungen ergaben für Kihuiro nur eine Jahresmenge von 267 mm⁵²). Dieser Wert erscheint glaubhaft,

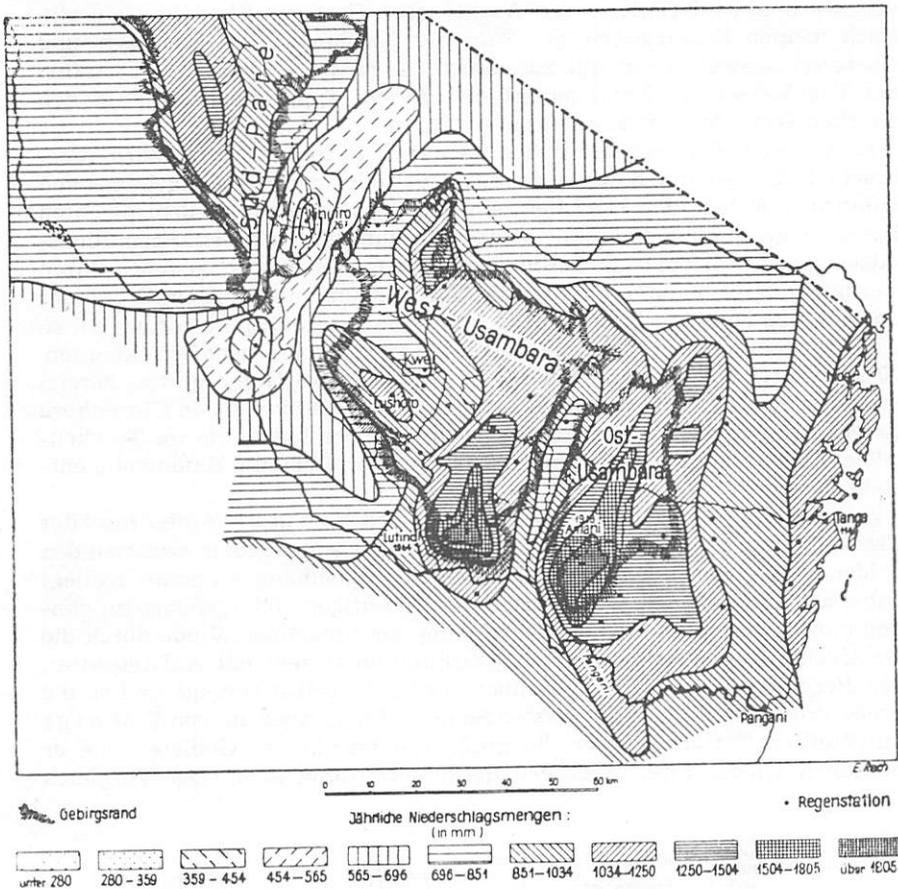


Abb. 10. Karte des jährlichen Niederschlags im Usambara- und Pare-Gebirge und der Trockeninsel von Kihuiro.

denn seit langem ist diese Stelle durch eine für diese äquatorialen Breiten ungewöhnlich trockene Vegetation bekannt. G. Volkens⁵³⁾ hat sie in ihren abenteuerlichen Lebensformen abgebildet und schreibt von ihr: „Es ist eine reine Sukkulente steppe, das dürrste und unfruchtbarste Gebiet, welches man sich denken kann, aber gerade darum von einer Vegetation bedeckt, wie sie mir in ähnlicher Seltsamkeit nur in den trockensten Wüstenstrichen Ägyptens begegnet ist. Jede Pflanze ist eigentlich eine Kari-katur“. Es handelt sich um eine Vegetation, wie man sie in dieser Ausprägung erst wieder im trockenen Somalien und in Nordäthiopien oder in der Karru Südafrikas antreffen kann. Volkens erwähnt neben den stamm-sukkulente Euphorbien (*Eu. Tirucalli* und *heterochroma*) stamm-sukkulente *Caralluma* und *Stapelia*, die eigentümlichen Tonnenbäumchen von *Adenia globosa* und *Pyrenacantha malvifolia*, dazu die sukkulenten Lianen *Cissus quadrangularis* und *rotundifolia* und den Unterwuchs von *Sansevieria*. Daneben sind noch einige Vertreter von Dornbüschen vorhan-

den, *Acacia*, *Salvadora* und *Gymnosporia*, der freie Boden ist größtenteils von stacheligen Kräutern der Acanthaceen-Gattung *Blepharis* bedeckt. Nach meinen Erfahrungen aus Äthiopien stimmen Vegetationstyp und Niederschlagswert recht gut zusammen. Auch die sukkulente Vegetation des Tugela-Tales in Natal nähert sich diesem Typ, ohne allerdings den gleichen Grad der Trockenheit zu erreichen.

E. Weigt, der mehrere Jahre im nahen Lushoto in Usambara zugebracht hat, verdanken wir eine kurze Schilderung der Umgebung von Kihuiro⁵⁴). Neben dem Dorf liegt ein See, der von dem aus dem feuchten Paregebirge kommenden Mkomasibach durchflossen wird, ein Fremdlingsfüßchen, das bei einer größeren Ausdehnung des Trockengebietes durch Verdunstung ganz aufgezehrt würde. Die Verdunstung ist so groß, daß der um den See gelegene Boden durch Infiltration salzhaltig geworden ist, so daß Eingeborene eine einfache Salzgewinnungsanlage schaffen konnten. 20 km weiter nördlich am Fuß des Paregebirges bei Gonja gibt es bereits immergrünen Grundwasserwald mit riesigen Exemplaren von *Clorophora excelsa*. Die günstige Wasserzufuhr vom Gebirge hat heute im Trockengebiet eine ansehnliche Bewässerungskultur von Reis und Baumwolle entstehen lassen.

Was uns hier besonders interessiert, ist die Frage, ob und wie diese Insel der Trockenheit mit der topographischen Lage in der engen Pforte zwischen den beiden steil aufragenden Gebirgshorsten zusammenhängen könnte. Es liegt nahe, an die trockenen Windpforten der luvseitigen Gebirgshänge zu denken und zu vermuten, daß der Durchgang monsunartiger Winde durch die Gebirgslücke ein ähnliches lokales Zirkulationssystem mit Aufsteigen an den Berghängen und Absteigen über der Senke selbst erzeuge und so die große Trockenheit über der tiefsten Sohle bedinge. Aber die von E. Weigt mitgeteilten Tatsachen über die große Windarmut des Gebietes, die er mündlich wiederholte, bestätigen diese Vermutung nicht. Der Vergleich

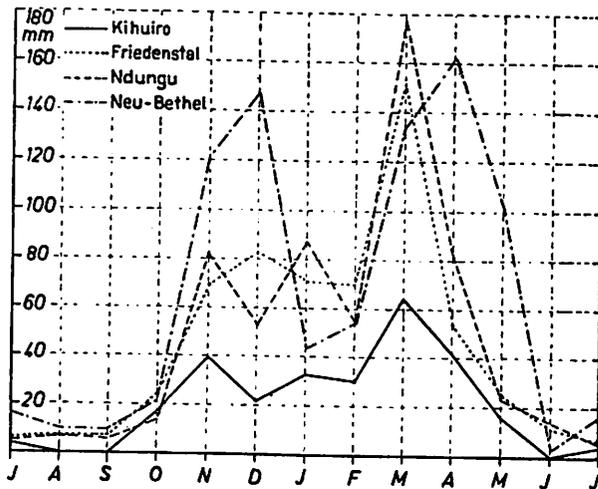


Abb. 11. Der jährliche Gang des Niederschlags in Kihuiro im Vergleich mit einigen Nachbarstationen.

mit der Station Ndungu, die ebenfalls in der Senke gelegen ist, und mit den beiderseitigen Höhenstationen Friedenstal und Neubethel lehrt, daß der jährliche Gang der Niederschläge in allen Stationen ein recht ähnlicher ist, daß die geringe Jahresmenge von Kihuiro aber vor allem dadurch entsteht, daß die in den beiden Regenzeiten Februar bis April und Oktober bis Dezember in Ndungu und auf den Höhen fallenden starken Niederschläge hier beträchtlich reduziert sind (Abb. 10). Es sind also die konvektiven Luftbewegungen in den zenitalen Niederschlagszeiten, die über der Grabenmitte besonders wenig Regen bringen. Die Gebirgshänge und Höhen erhalten dabei ihre starken Niederschläge durch tageszeitlich aufsteigende Luftbewegungen. Nach dem Wagner'schen Prinzip dürfte dabei aber doch angenommen werden, daß über dem Graben ein absteigender Ausgleichstrom besteht, der für die Erklärung der Trockenheit verantwortlich gemacht werden kann und der auch mit der beobachteten Windstille im Einklang stehen würde. Eine Regenschattenwirkung bei advektiver Luftbewegung scheint jedenfalls nicht vorzuliegen.

12. Die Ausgleichswinde zwischen der Senke des Roten Meeres und den umgebenden Hochländern.

Ein großartiges System tageszeitlicher Gebirgswinde entwickelt sich im südlichen, tropischen Teil des Rotmeergebietes zwischen der wüstenhaften Sohle des Rotmeergrabens einerseits und den über 3000 m aufragenden Hochländern von Äthiopien und Südwestarabien andererseits. Die klimatologischen Verhältnisse sind dort schon im zonalen Bild ohne Berücksichtigung der Orographie einigermaßen kompliziert. Denn die Senke des Rotmeergrabens beeinflusst das allgemeine Bild der Zirkulation beträchtlich.

Die Hochländer Äthiopiens und Südwestarabiens (Jemen und Asir), die noch in ihrer ganzen Erstreckung innerhalb der Tropen gelegen sind, empfangen ihre Niederschläge in der Sommerzeit in Form von Wärmeregen bzw. Monsunregen, die durch den im Sommer von Ostafrika nach Südasien gerichteten Monsun entstehen. Die Nordgrenze der südwestlichen Monsunwinde liegt im Nilgebiet etwa bei 18 bis 20° n. Br. (zwischen Atbara und Merowe), in Arabien, von wo nur dürftige Unterlagen vorliegen, offenbar weiter südlich bei etwa 15°⁵⁵⁾. Bis in diese Breiten reichen umgekehrt die nördlichen Trockenwinde des Sommers, Fortsetzungen der mittelmeerischen Etesien. Sie bilden mit den südwestlichen Monsunwinden Konvergenzzonen. In den Wintermonaten weht über dem Arabischen Meer der trockene asiatische Wintermonsun. Weiter nördlich hat das Hedjaz und das Plateau von Nedsch mit Ausnahme seiner südlichen Abdachung noch beachtliche Winterniederschläge. Sie werden von westlichen Winden in Regenschauern gependet, die als Ausläufer der wandernden Depressionen der ägyptischen Küste (Zugstraße Ve) gelten müssen. Sie bleiben also nördlich des Wendekreises. Das trockenste Gebiet befindet sich in dieser Jahreszeit im Innern der südlichen arabischen Halbinsel. Über dem A. E. Sudan liegt im Winter ein Tief, ein Ausläufer der äquatorialen Tiefdruckrinne Afrikas, auf das über Südarabien wehende monsunartige Winde gerichtet sind.

Aber diese generelle Zirkulation erfährt über dem Roten Meer starke Veränderungen. Im ganzen Winterhalbjahr ist die nördliche Hälfte des Roten Meeres von NNW-Winden, die südliche Hälfte von SSE-Winden beherrscht, deren Konvergenz etwa in der Breite von 18 bis 20° bei Tokar-

Suakin liegt (Abb. 12). In dieser Zeit empfangen die fast wüstenhaften Gestade des Roten Meeres bis weit in tropische Breiten Niederschläge und zwar Djidda 80 mm von November bis Januar, Port Sudan 88 mm von Oktober bis Februar, Suakin 181 mm in den gleichen Monaten, Massaua 167 mm von November bis April und Thiò 93 mm von Dezember bis April. In Assab nahe dem Süden des Roten Meeres herrscht völlige Wüstenhaftigkeit (im Mittel 27,1 mm jährlich ohne klaren Jahresgang) ähnlich wie in Dongonaab an der Westküste des Roten Meeres gegenüber Djidda bei $21^{\circ} 6' \text{ n. Br.}$ (38 mm jährlich⁵⁶⁾). Im Sommer ist die Sohle des Roten Meergrabens im Gegensatz zu den beiderseitigen Hochländern völlig regen-

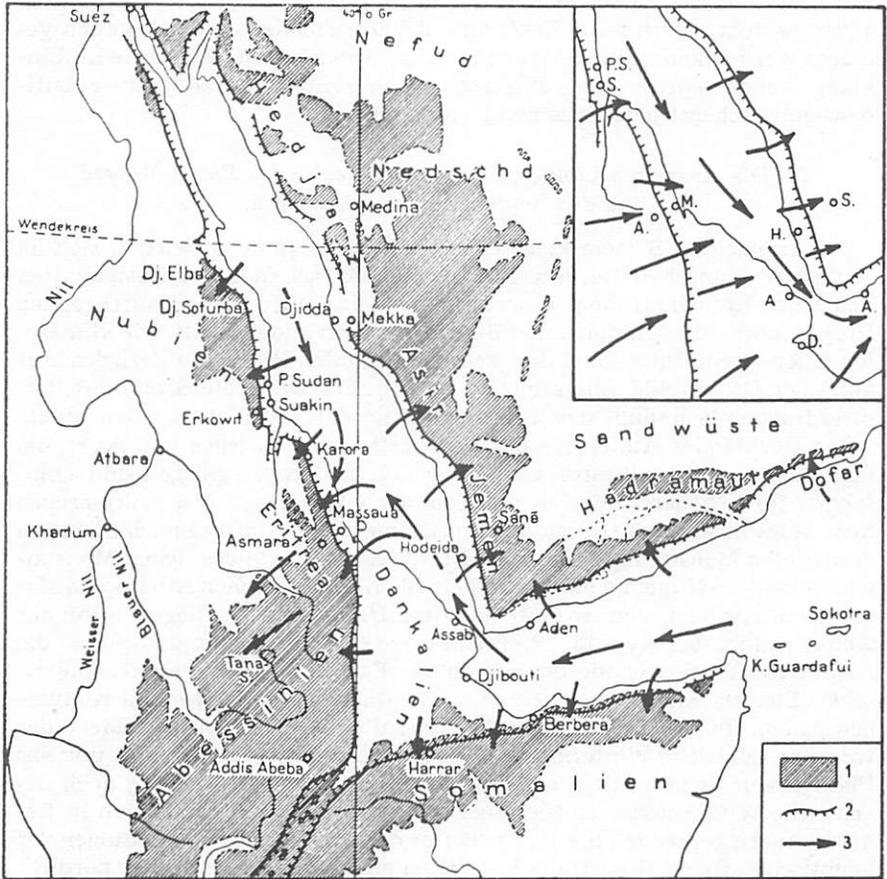


Abb. 12. Die Windverhältnisse im Rotmeer-Gebiet und in den umgebenden Hochländern.
(Maßstab ca. 23 Mill.)

1. Hochländer über 1000 m Meereshöhe.
2. Steilabfälle der Hochländer gegen die Grabengebiete des Roten Meeres, des Golfs von Aden und des Abessinischen Grabens.
3. Vorherrschende Windrichtungen: a. (auf der Hauptkarte) in der Winterzeit, b. (auf der Nebenkarte) in den Hochsommermonaten Juni, Juli und August.

los. In Eritrea nehmen die Sommerniederschläge des Hochlandes an seinem Ostabfall so schnell ab, daß vom Fuße des Gebirges an praktisch keine Niederschläge mehr fallen. In dieser Zeit wehen nämlich auch im südlichen Teil der Rotmeersenke nordwestliche Winde, in Fortsetzung der trockenen Etesien des Nordens, und die ganze Grabensohle vom Suez bis zur Straße von Bab el Mandeb ist im Sommer so gut wie regenlos (Regenmengen des Sommerhalbjahres in Massaua 7,4 mm, in Damas am Rande der Grabensohle westlich Massaua 27 mm, in Suakira 13 mm, in Port Sudan 15 mm, in Dongonaab 2 mm und in Djidda 0 mm). Diese umgekehrte jahreszeitliche Niederschlagsverteilung zwischen dem Rotmeergraben und dem Hochland habe ich früher für Eritrea und Südnubien in Niederschlagskarten des Winter- und Sommerhalbjahres zur Darstellung gebracht⁵⁷⁾. Die sommerlichen NW-Winde des Roten Meeres schwenken im Golf von Aden in SW-Winde ein, also in das sommerliche afrikanisch-südasiatische Monsunsystem. Über die Windverhältnisse über dem Roten Meer mag die folgende Tabelle Auskunft geben⁵⁸⁾ (Windstärken in Beaufort).

	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.
Rotes Meer Nord	NNW 4	NNW 4	NNW 4	NNW 5	NNW 4	NNW 4	NNW 4	NNW 5	NNW 5	NNW 4	NNW 5	NNW 5
Rotes Meer Süd	SSE 3	SSE 4	SSE 4	SSE 5	SSE 5	SSE 4	SSE 4	SE 3	NNW 3	NW 3	NW 3	SE 2
Golf von Aden	E 3	E 3	E 2	E 5	E 4	E 4	E 3	E 3	SW 3	SW 5	SW 2	SW 2

Es weht somit zu keiner Jahreszeit ein geschlossenes Windsystem quer über das südliche Rote Meer hinweg, weder im Sommer der Südwestmonsun noch im Winter der Nordostmonsun. Man könnte versucht sein, anzunehmen, daß die Winde in der Senke des Roten Meeres in größeren Höhen von einem anderen Windsystem überlagert sind. Dies ließe sich nur mit aerologischen Beobachtungen feststellen, wahrscheinlich ist es nicht. Dagegen besteht, wie der Verfasser auf zwei Reisen 1933 nach Eritrea und dem Sudan und 1937 nach Eritrea und Abessinien feststellen konnte, eine äußerst auffallende Beziehung der klimatischen Erscheinungen zu den orographischen Verhältnissen, die auf ein großräumiges System von Gebirgswinden zwischen dem Rotmeergraben und dem nordäthiopischen Hochland hindeuten. Am besten lassen sich die Verhältnisse im mittleren Eritrea zwischen dem Küstenland von Massaua und dem Altopiano von Asmara studieren. Schon die Verarbeitung der Niederschlagsmessungen von 20 Regenstationen ergab diese auffallende Beziehung zum Gelände⁵⁹⁾. Die Sommerregen des Hochlandes, die bei einer allgemeinen Abnahme von SW nach NO und einer gewissen Abhängigkeit von der Meereshöhe im Hochland 350 bis 700 mm betragen, sinken am Ostabfall auf eine Entfernung von 20 bis 40 km so schnell ab, daß in der Küstenebene völlige Sommertrockenheit herrscht. Umgekehrt steigern sich die an der Küste schwachen Winterniederschläge landeinwärts, zunächst bis zum Fuß des Gebirges nur mäßig, dann aber am Anstieg zum Hochland schlagartig. An Stellen, die gegen Osten frei exponiert sind, fallen im Winter 700 bis 900 mm Regen. Am Rande des Altopiano aber, der die Wasserscheide gegen Nil und Barka trägt und auf dem das Gelände wieder langsam nach Westen abzusinken beginnt, sind sie schlagartig zu Ende. An keiner Station des Altopiano fallen 50 mm Winterniederschlag. So erhalten wir die gesetzmäßige Beziehung: Küstenebene winterfeucht und sommertrocken; Altopiano sommerfeucht und winter trocken; Ostabdachung des Hochlandes Niederschläge im Winter und Sommer.

Im Vegetationsbild kommen diese Verhältnisse sehr drastisch zum Ausdruck. Die winterfeuchte Wüstensteppe der Küste geht landeinwärts und auf vorgeschobenen Bergen zunächst in winterfeuchte Dornsteppe über. Die unteren Hänge der Abdachung bis etwa 1000 m Höhe sind von einem mesophytischen Fallaubwald vom Charakter eines Trockensavannenwaldes überkleidet. Es herrschen darin die Combretaceen-Gattungen *Terminalia*, *Combretum* und *Anogeissus*. Dieser Wald ist weder ausgesprochen sommergrün noch wintergrün. Er hat vorwiegend Winterregen. Im Oktober 1933 fanden wir ihn im Zustande der neuen Blattentfaltung und des wiedererwachenden Tierlebens der Insekten, Vögel und Reptilien, wie sie dem Tropenfrühling vor Beginn der Regenzeit eigen sind. Er nimmt aber in den Wintermonaten keineswegs vollen regenzeitlichen Aspekt an, wie er auch im Sommer nicht völlig entlaubt ist. Es ist der seltene Fall eines mesophytischen tropischen Fallaubwaldes ohne ausgesprochene Periodizität. Dies ist der Fall an den Hängen unterhalb Ghinda, in der Gegend von Filfil und im Norden des Landes bei Karora. Filfil verzeichnet 882,0 mm Regen im Winter- und 276,4 mm im Sommerhalbjahr.

Am freien Außenhang des Gebirges geht der geschilderte Wald nach oben in einen immerfeuchten Höhenwald über, der von *Olea chrysophylla* und anderen lorbeerblättrigen Gestalten des tropisch-afrikanischen Nebelwaldes zusammengesetzt und reichlich mit epiphytischen Farnen, Moosen und Bartflechten behangen ist. Wie in Ost- und Südafrika bedeckt er selten ganze Hänge einheitlich, sondern findet sich mit Vorliebe in den Tälern, Schluchten und Quellmulden und läßt die Vorsprünge und Rücken für mesophytische Gebüsche der klebrig-hartlaubigen *Dodonaea viscosa* und für Höhengrasfluren von *Themeda triandra* frei. In dieser Zone liegen die Nebelwälder des Monte Bizen und der Lessa-Kette und die immergrünen Waldlandschaften von Faghenà-Merara, in denen die Italiener Kaffeekulturen angelegt und erfolgreiche Versuche mit Cinchona, Tee und Kampfer angestellt haben⁶⁰). In größeren Höhen gesellt sich in die Olivenwälder auch die Usambara-Zeder *Juniperus procera*. Daneben aber gibt es am Ostabfall auch trockenere, gegen die östliche Winterfeuchtigkeit geschützte Täler und Talbecken, in denen die Sommerregen allein wirksam sind. Dort stellen sich in tieferen Lagen die makrotherme Dornsteppe und von 1700 m aufwärts die Bestände der abessinischen Kandelaber-Euphorbie („Golqual“) ein. Die letzteren gehören in die mittlere Höhenstufe des Landes, in die Woina Dega, und reichen sowohl hier wie auf dem Hochland bis etwa 2300 m Höhe. In dieser Stufe gedeiht noch reichlich die Sorghum-Hirse, darüber folgt auf dem Altopiano die Hochlandsvegetation der Dega, die weithin durch die abessinische Kulturlandschaft mit vielfältigem Anbau von Weizen, Gerste, Mais, Teff, Öllein (Leinsaat), Niuk (Guizotia), Kichererbsen, Linsen usw. ersetzt ist⁶⁰).

Was Regenmessungen und Pflanzenkleid lehren, tritt auch im täglichen Wettergeschehen sichtbar in die Erscheinung⁶¹). Fast alltäglich bildeten sich in den Monaten unseres Aufenthaltes zwischen September und Dezember an den Ostabfällen des Hochlandes vormittags Steigungsnebel, etwa von 800 m Höhe ab. Sie überziehen die feuchten Hangpartien oft von 9 bis 11 Uhr ab fast ganz. In den Nachmittagsstunden können auch stärkere Regen und sogar Gewitterbildung hinzukommen. Am Nachmittag hüllen die Nebel gewöhnlich auch den Rand des Altopiano vollständig ein. Sie werden dann von starken Winden über die Wasser-

scheide herübergeblasen. Dem Beschauer von Westen erscheinen sie als windgepeitschte finstere Wolkenbank, die von Osten her ständig durch neue Nebelzufuhr gespeist, aber mit dem Erreichen des Hochlandrandes schlagartig aufgelöst wird. Schon Asmara, wenige Kilometer vom Rande des Altopiano entfernt, bleibt dabei ständig in Sonnenschein. Höchstens gegen Abend fallen einmal einige Regentropfen über der Stadt. Erst westlich davon, wo die Advektion der östlichen Winde abgelöst wird von der Konvektion der Hochlandsluft, haben wir den von Cumuluswolken geschmückten Altopianohimmel.

Eine öftere Bereisung der Ostabdachung hat uns dann gelehrt, daß sich die westliche Nebelgrenze je nach der Topographie in zwei Staffeln aufgliedern kann. Nur bei voller Ausbildung des Nebelphänomens erreichen diese den Ostrand des Altopiano auf seiner ganzen Länge vom Monte Soira über Addi Caieh, Saganeiti, Asmara und Add Teclasan bis zu den Roren im Norden des Landes. Bei mäßiger Ausbildung in den Mittagsstunden und gelegentlich auch ganztägig bleiben die Nebel an vorgeschobenen Bergketten hängen, so daß in dem Zwischenraum bis zum Rand des Altopiano trockenere Landschaften übrigbleiben. Sie erhalten kaum nennenswerten Nebelniederschlag, genießen aber die schattenspendende Wirkung der Nebeldecke. Die Auswirkung dieser Verhältnisse auf Vegetation und Landeskultur habe ich früher dargestellt.

Es erhebt sich nunmehr die Frage, wie die Gesamterscheinung der Witterungsvorgänge und der klimatischen Gliederung beiderseits des südlichen Rotmeergrabens gedeutet werden sollen und können. Für Eritrea verfügen wir über Windbeobachtungen einiger Stationen, die uns weiter führen können⁶²). Die Regenzeit von Asmara dauert von April bis September. Während dieser Zeit fallen 437 mm Niederschlag gegenüber nur 31,7 mm in den sechs Monaten der winterlichen Trockenzeit. Aber von den Sommerregen entfallen allein 304,6 mm, d. i. 64% des Jahresniederschlags auf die beiden Monate Juli und August. Die eigentliche Regenzeit dauert von Ende Juni bis Mitte September. Nur in dieser Zeit herrschen die Winde aus den westlichen Quadranten vor, es ist die eigentliche Zeit des SW-Monsuns. Dann ist der Himmel gewöhnlich am Vormittag wolkenlos oder nur mit Cirruswolken bedeckt, in den Mittagsstunden bilden sich gewaltige Cumuli und Cu-Nimbi und nachmittags gehen heftige Gewitter, u. U. sogar mit Hagelfällen nieder. 1933 sind an einzelnen Gewittertagen in zwei Stunden 44, 61 und sogar 71,5 mm Niederschlag gefallen. Der Vergleich mit dem Roten Meer zeigt uns, daß diese hochsommerliche Monsunzeit des Hochlandes zusammenfällt mit den regenlosen Monaten Massauas und mit den Monaten, in denen auch im südlichen Roten Meer trockene nordwestliche Winde wehen, die sich in den SW-Monsun des Golfes von Aden fortsetzen. Auch auf dem Ostabfall des Hochlandes setzen in den Monaten Juli und August die sonst herrschenden E- und NE-Winde aus und werden abgelöst von westlichen Winden, die wie auf dem Hochlande sommerliche Wärmegewitter erzeugen. Dies gilt nach G. D e r e g e für das 1760 m hoch gelegene Faghenà, wo in den beiden Hochsommermonaten 254,7 mm Regen fallen gegenüber nur 14,1 mm im Juni und 37,9 mm im September. Nach abwärts aber nehmen diese hochsommerlichen Regen sehr rasch ab. In Filfil, unmittelbar östlich Faghenà bei 650 m Höhe, fielen in den beiden Monaten nur 165,4 mm gegenüber 6,2 mm im Juni und 14,2 mm im September. Daraus gewinnt man den Eindruck, daß für diese Monsunwinde die Ost-

hänge Eritreas die Leeseite darstellen und daß sie sich in die trockenen NW-Winde des südlichen Roten Meeres fortsetzen. Während aller übrigen Monate des Jahres, von Mitte September bis Mitte Juni, herrschen dagegen auf dem eritreischen Hochlande trockene Winde aus E und NE. Die dreijährigen Windbeobachtungen von Asmara 1930 bis 1932 ergaben folgende Häufigkeiten:

Windhäufigkeit in Asmara in den Jahren 1930—32 (Beobachtungen 9 h, 15 h, 21 h)

	N	NB	E	SE	S	SW	W	NW	Windstille
Januar	2	13	39	8	1	8	9	5	8
Februar	2	15	40	2	3	1	13	2	6
März	2	8	48	5	5	5	10	4	6
April	—	16	50	8	3	2	5	3	3
Mai	4	16	50	11	7	1	—	2	2
Juni	11	27	22	—	1	1	17	11	—
Juli	3	6	2	—	1	10	50	19	2
August	6	11	3	2	1	7	44	14	5
September	17	34	17	—	—	—	8	11	3
Oktober	3	38	47	2	1	1	—	—	1
November	—	16	67	2	2	—	1	1	1
Dezember	—	16	52	12	3	1	3	1	5
Summe	50	216	437	52	28	37	160	73	42

In den Monaten September bis Juni herrschen nicht nur in Asmara, sondern auch am Ostabhang des Hochlandes die E- und NE-Winde vor, die gegen das Hochland gerichtet sind und als Steigungswinde die Nebel- und Wolkenbänke erzeugen. Die Windmessungen in Faghenà bestätigen aber einen deutlichen tageszeitlichen Gang dieser Winde. Um 15 h herrschen immer die östlichen Winde, aber gegen 21 h haben sie sich mit einer gewissen Konstanz jeweils in nächtliche W- und NW-Winde gedreht. Viel klarer tritt dieser tageszeitliche Turnus der Winde in der täglichen Bildung der Steigungsnebel in Erscheinung. Sie entwickeln sich in einer gewissen Höhe über dem Meer, berühren von etwa 800 m an aufwärts exponierte Osthänge, hüllen die freien Höhen von Faghenà, Merara und des Monte Bizen ein und reichen am Nachmittag gewöhnlich in geschlossener Front über den Ostrand des Altopiano^o).

Auch die Nebelzeit der Osthänge hat noch ihre jahreszeitlichen Unterschiede. Die ersten Nebel treten nach der vorwiegend nebelfreien Zeit der auf die Osthänge herübergreifenden sommerlichen Regen ein, wenn auch an der Küste die ersten kleineren Regen einsetzen. Doch sind sie zuerst nur in großen Höhen am Rande des Altopiano ausgebildet. Dies ist die kleine

*) Die in der Natur beobachtete Kondensationshöhe läßt sich nach der Hennig'schen Formel 123. (t-ta) aus den mittleren Temperatur- und Feuchtigkeitswerten von Massaua, Faghenà und Asmara auch berechnen. Das Ergebnis für die Monate Januar und April 1932 stellt sich folgendermaßen dar:

	Mitteltemp. t	rel. Feucht. f	Dampfdruck e	Taupunkt ta	t-ta	Kondensationshöhe
Januar 1932						
Massaua	27,0	68	18,2	20,6	6,4	790 m
Faghenà	14,8	89	11,5	13,4	1,4	170 m
Asmara	15,5	43	5,6	2,7	12,8	1580 m
April 1932						
Massaua	29,0	64	19,3	21,5	7,4	910 m
Faghenà	19,1	78	12,9	15,1	4,0	500 m
Asmara	18,8	55	9,0	9,7	8,8	1080 m

Nebelzeit. Sie bringt in Faghenà Niederschläge aus den höheren Nebelschichten. Im Oktober setzen die Nebel wieder aus und es herrscht etwa einen Monat lang schönes Wetter. Dann beginnt im November die große Nebelzeit, in der Faghenà Tag und Nacht in dichte Wolken gehüllt ist, die auch tropfbaren Niederschlag bringen. Diese Zeit dauert bis Mitte April. Dann tritt wieder sonniges Wetter ein, das eine starke Erwärmung mit sich bringt und im Mai zum Temperaturmaximum führt, bis die Sommerregen im Juni die Temperatur wieder abschwächen. Die winterliche Nebelzone reicht so hoch, daß morgens, wenn sich die Nebel unter der Wirkung der nächtlichen Abkühlung zu einem Stratus ausgebreitet haben, nur die allerhöchsten Gipfel wie Inseln aus dem Nebelmeer aufragen, also etwa von 2200 bis 2400 m ab.

Es kann keinem Zweifel unterliegen, daß in dieser längsten Zeit des Jahres ein System von Gebirgswinden zwischen dem südlichen Roten Meer und dem Hochland von Eritrea besteht. In Küstennähe sind diese Hangwinde mit dem System der Land- und Seewinde gekoppelt, die in Massaua seit langem bekannt sind. Nach den Beobachtungen von 1930-32 herrschen in diesem Hafen das ganze Jahr nordwestliche bzw. nordöstliche Winde vor, nur untergeordnet auch Nordwinde, während die Richtungen E, SE, S, SW und W ganz stark zurücktreten⁶²). Vgl. hierzu die folgende Tabelle:

Windhäufigkeit in Massaua in den Jahren 1930—32 (Beobachtungen 9 h, 15 h, 21 h)

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Windstille
Januar	14	24	7	—	—	—	15	31	—
Februar	14	29	8	—	—	—	5	33	—
März	11	36	6	—	—	—	1	37	—
April	16	37	12	1	1	—	—	22	—
Mai	21	33	4	1	1	3	3	23	—
Juni	26	21	3	1	—	—	6	30	—
Juli	12	21	9	3	—	5	5	38	—
August	8	24	12	6	8	7	3	25	—
September	15	22	4	2	1	1	5	38	—
Oktober	6	24	4	5	10	9	3	29	—
November	9	16	11	3	3	3	8	35	—
Dezember	8	12	2	7	6	2	15	39	—
Summe	160	229	77	29	30	30	69	380	—

Die Tabelle ist so zu verstehen, daß am Nachmittag der Seewind von NE und E herrscht, der in den Morgen- und Abendstunden zum Landwind aus NW und W dreht. Die allgemeine Windrichtung ist in diesen Jahreszeiten über dem Golf von Aden E, über dem südlichen Roten Meer SSE, an den Osthängen Eritreas und auf dem Hochlande dagegen E und NE. Es handelt sich also im großen ganzen um das System des asiatischen Wintermonsuns, auch nach dem Bilde der Zirkulation, das G. B a u e r⁶³) für SW-Asien entworfen hat. Dabei nimmt allerdings B a u e r gerade im Rotmeergebiet des mittleren Eritrea eine Konvergenz von Teilströmungen an, die dort von SE über die Straße von Bab el Mandeb, von N von Suez und von NE direkt über die Arabische Halbinsel gegen Eritrea wehen und sich zu einem einheitlichen eritreischen NE-Wind vereinigen. Auf diese Konvergenz führt er die verstärkten winterlichen Niederschläge an der Küste des Roten Meeres zwischen Port Sudan und Thiò als auch an den Abhängen des eritreischen Hochlandes zurück. Aber dieses System wird, wie die genauere Analyse des Witterungsverlaufes gezeigt hat, zwischen der Küste und dem Hoch-

landsrand von einem sehr markanten System von Gebirgswinden überlagert, die nur in den Hochsommermonaten, Ende Juni bis Mitte September, aussetzen.

Die geographische Auswirkung der durch die Hangwinde verursachten klimatischen Differenzierungen soll noch an einem Ausschnitt Eritreas erläutert werden, der vom Hochplateau bei Asmara längs der Eisenbahn nach Massaua bis nahe an den Fuß des Gebirges reicht (Abb. 13). Der Rand des Altopiano ist hier sehr scharf gezeichnet, doch ist ihm im Osten der Monte Bizen vorgelagert, der fast die Höhe des Altopiano erreicht und sogar noch einen Rest der kristallinen Rumpffläche trägt. Als Sitz eines koptischen Klosters ist er weithin bekannt. Die frei nach Osten gekehrten Hänge dieses Berges sind der vollen Wirkung der Steigungsfeuchtigkeit ausgesetzt. Dort haben die Mönche in den Nebelwäldern Kulturen von Bananen angelegt. Die Grenze der nebelfeuchten Oliven- und Lorbeerwälder zieht weiter über den Lessakamm zum Monte Longo und jenseits des Taleinschnittes des Valle Dorfú zum Hochlandsrand bei Monte Hauà Gallè. Etwas weiter nördlich fallen bei Faghenà die Hänge vom 2600 m hohen Rand des Altopiano über die Kaffeepflanzungen von Faghenà in einem Zug 2000 m tief zum Tal von Filfil ab. Dort reicht infolgedessen die stark beregnete Zone bis zum Hochlandsrand. Im Bereich unseres Kartenausschnittes dagegen schalten sich zwischen die nebelfeuchten Höhen von Bizen und Lessa und den Altopianorand die trockenen Talbecken des Valle Dorfú und von Mahabar ein. Von 1700 bis 2300 m herrscht dort die Vegetation der Golqual-Euphorbien, im Grunde des Valle Dorfú jedoch bei 1350 bis 1600 m eine ausgesprochen aride Vegetation mit vorherrschenden Sukkulenten, besonders *Aloe abyssinica*. In diesem gegen Osten gut abgeschlossenen Talbecken sind die winterlichen Niederschläge begrifflicherweise ganz gering (Winterhalbjahr im zweijährigen Mittel 97,5 mm), auffallend hoch jedoch die sommerlichen, die in Form starker Gewitterregen etwa 508 mm Niederschlag lieferten. Der jahreszeitliche Gegensatz der sommerfeuchten Talbecken des Innern und der winterfeuchten Küstenebene hat zur Folge, daß die Nomaden des Küstenlandes, wie auch in Norderitrea die Habab und in Nubien die Hadendoa ihre Weideplätze im Wechsel der Jahreszeiten zwischen Küstenland und Binnenland vertauschen.

Über dem Trockental von Dorfú ist der Rand des Altopiano wieder recht stark durch die winterlichen Nebelwolken befeuchtet. In dieser schmalen Randzone nützen die Hochlandbauern die Nebelfeuchtigkeit aus, um am Ende der sommerlichen Regenzeit Mitte September eine eigene Gerstensorte („Eifò“) anzubauen, die mit der Nebelfeuchtigkeit des Herbstes wächst und ihre Körner reift. Außerdem hat die italienische Kolonialregierung nach dem ersten Weltkrieg die Feuchtigkeit des Hochlandrandes, das gewaltige Gefälle und die Trockenheit des Valle in einer interessanten

1. Altopiano, 2. Randabbruch des Altopiano, 3. Nach Osten vorspringende Bergkämme,
4. Mesophytischer Fallaubwald der heißen Stufe mit Winter- und Sommerfeuchtigkeit,
5. Immergrüne Höhen- und Nebelwälder mit *Olea chrysophylla*, 6. Wolken- und Nebelzonen bei östlichen Steigungswinden, 7. Westgrenze der Nebel am Ostrand des Altopiano, 8. Subxerophytische Vegetation der abessinischen Golqual-Euphorbien, 9. Trockener Sukkulentenbusch im Valle Dorfú, 10. Turbinenleitung von den Talsperren des Hochlandrandes zum Valle Dorfú, 11. Bewässerungsgebiet im Valle Dorfú (Kaffeepflanzungen), 12. Eisenbahn Massaua—Asmara—Keren.

[Der Maßstab unter der Karte ist 10fach zu verkleinern: 10 000 statt 1000 Meter.]

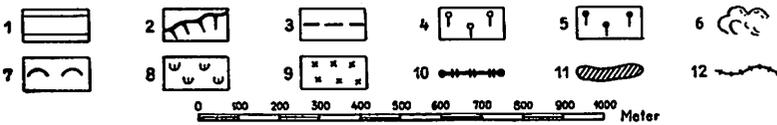
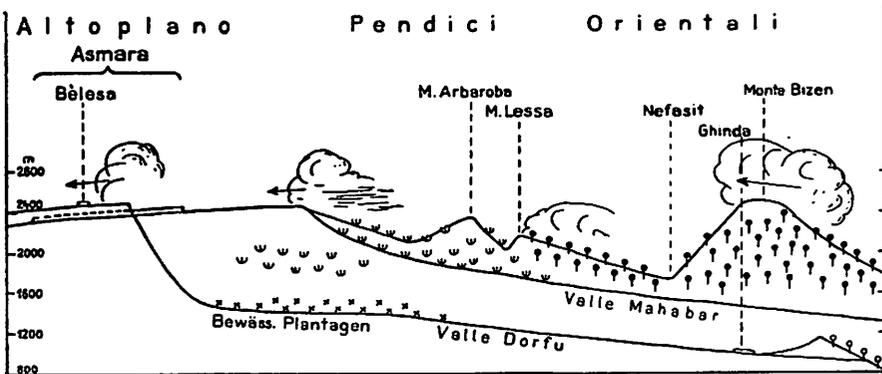
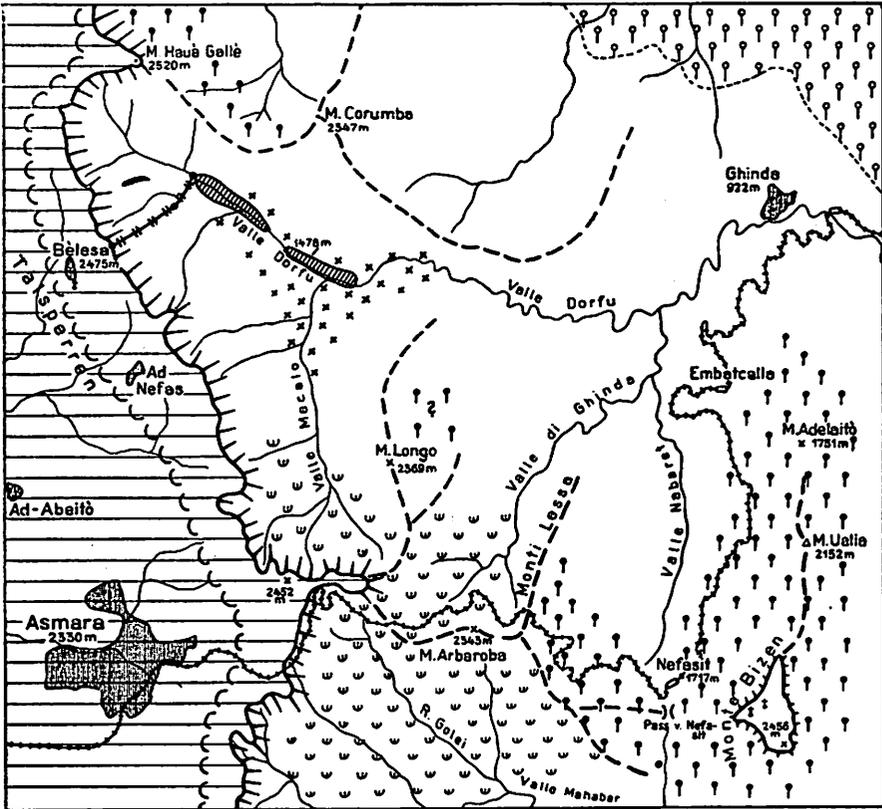


Abb. 13. Klima- und Vegetationsabstufung am Abfall des eritreischen Altopiano gegen das Rote Meer bei Asmara (Orig.).

Weise zur Erzeugung elektrischer Kraft für die Stadt Asmara auszunutzen verstanden (Abb. 13). Bei den Dörfern Belesa und Nefas nördlich Amara, also direkt unter der Wasserscheide, wo zwar kein hydrographisches Einzugsgebiet vorhanden ist, aber neben den Sommerregen noch die Nebelregen der Wintermonate Wasser spenden und die hohe Luftfeuchtigkeit die Verdunstung herabsetzt, hat man drei Talsperren errichtet (Belesa, Nefas und Valle Gnechi), die zusammen 3 300 000 cbm Wasser fassen. Der Steilabfall gegen das Valle Dorfú ermöglichte eine Turbinenleitung von 1200 m Gefälle, wobei das Hauptkraftwerk bei 800 m Fallhöhe, ein kleineres 400 m tiefer auf der Sohle des Valle Dorfú gelegen ist. Das dort in der ariden Talsohle entströmende Wasser aber wurde an eine private Firma (Rizzi Fratelli) verpachtet, die im Anschluß an die Turbinenleitung eine 110 ha große Pflanzung für Kaffee, Bananen und Orangen anlegte, die die Hauptstadt mit Früchten versorgt.

Die für das mittlere Eritrea geschilderten Gebirgswinde setzen sich noch viel weiter nordwärts fort (Abb. 12), zunächst im nördlichen Eritrea in der Gegend von Nacfa und Karora, wo zwar keine geschlossenen Hochflächen mehr vorhanden sind, sondern nur mehr über 2000 m hohe horstartige, küstenparallele Gebirgszüge, die sog. Roren. Ihre Höhen tragen Nebelwälder von Oliven, ihre Osthänge werden sowohl von sommerlichen Zenithalregen als winterlichen Steigungsregen und Nebeln befeuchtet. Noch etwas weiter nördlich im A. E. Sudan betreten wir die Wüstensteppenzone, wo auch auf dem Hochlande nur mehr geringe sommerliche Niederschläge von weniger als 150 mm jährlich fallen. Im Hinterland von Port Sudan - Suakin bildet die Randschwelle Afrikas eine Hochfläche von 1100—1200 m Höhe, über die einzelne Berge bis zu 1500 m Höhe aufragen. Das Küstenland hat hier noch winterliche Niederschläge von ähnlicher Höhe wie bei Massaua. Sowohl für die Verteilung der Winterals der Sommerregen sind auch hier die Großformen des Landes entscheidend. Die Sommerregen erreichen ihre Grenze am Rande des Rotmeergrabens, die Winterregen nehmen umgekehrt von der Küste binnenwärts sehr schnell ab. Aber am Rande des Hochlandes bei Erkwit, südwestlich Suakin, und bei Has Has, südwestlich Akik, kommt es bei den noch vorhandenen schwachen Sommerregen und durch die winterlichen Steigungsnebel und Sprühregen im Gefolge tageszeitlicher Ausgleichswinde zur Bildung immergrüner „Nebeloasen“ inmitten der Wüstensteppe, die ich früher in ihren klimatologischen Grundlagen und in ihrer vegetationskundlichen Ausprägung eingehend geschildert habe⁶⁴).

Es kann, zumal beim Mangel eigener Ortskenntnis, nicht meine Aufgabe sein, die Klimaverhältnisse und Vegetationsabstufungen am Abfall der südwestarabischen Hochländer gegen das Rote Meer und den Golf von Aden zur Darstellung zu bringen. Nur ganz kurz sei im Vergleich zur afrikanischen Gegenküste noch auf die dortigen Verhältnisse eingegangen (Abb. 12). Auch die gegen Südwesten und Südosten gerichteten Steilabfälle erzeugen starke tageszeitliche Windsysteme. Dabei bleibt es nach der bisherigen Literatur nicht ganz klar, wie es um deren jahreszeitliches Verhalten steht. Die an den Randgebirgen in den Morgenstunden sich bildenden Nebel und Sprühregen steigen untertags bis zu den Kämmen und zu den Hochrändern des Plateaus auf, lösen sich aber jenseits dieser Hochränder wieder schnell auf. Die Zone der Hangnebel reicht nach C. Rathjens und H. v. Wissmann auf der Rotmeer-

seite bis zum Wendekreis, an der Südküste bis zum Weihrauchlande Dofar, wo die zuletzt noch über 1000 m aufragende Pultscholle gegen das Meer ausstreicht⁶⁵). Am westlichen Fuß des Gebirgslandes von Jemen in der sog. Gebirgs-Tihāma entwickeln sich diese Nebel offenbar das ganze Jahr hindurch nach Sonnenaufgang und steigen schnell in die Höhe. Sie sind es, die die tropisch üppige Vegetation der Randgebirge des Hochlandes mit ihren Kaffeekulturen bedingen⁶⁶). Von der Küstenebene aus erscheint das jemenitische Randgebirge meist in Wolken gehüllt. Vom inneren Hochland aus dagegen sieht man, wie die schneeweißen Wolken über die randlichen Berge quellen und sich in der trockenen klaren Luft des Hochlandes auflösen. Ein Vergleich der Hochländer von Jemen-Asir und Eritrea zeigt also große klimatische Ähnlichkeiten. Ein Unterschied scheint nur darin zu bestehen, daß die Steigungsniederschläge in Jemen auch zur Zeit der sommerlichen SW-Winde auftreten, in Eritrea jedoch zu dieser Zeit aussetzen. Das dürfte seinen Grund darin haben, daß der Hochlandabfall in Eritrea im Regenschatten der südwestlichen Monsunwinde, in Jemen jedoch im Luv dieser Winde gelegen ist.

Schluß.

Wir haben am Beispiel der beiden großen Gebirgsgürtel, die das tropische Südamerika und Afrika von Norden nach Süden durchziehen, die Wirkung der lokalen Gebirgswinde einer Untersuchung unterzogen. Entsprechend dem ausgesprochen tageszeitlichen Gang der Temperatur spielen solche tageszeitlichen Winde in den Tropengebirgen eine besondere Rolle. Es ist dabei nicht immer möglich, die von A. Wagner theoretisch unterschiedenen Typen, Hangwinde, Ausgleichwinde zwischen Tiefländern und ausgedehnten Hochflächen und eigentliche Berg- und Talwinde, räumlich scharf zu trennen. Echte Ausgleichwinde, wie sie z. B. zwischen Nordindien und Tibet und zwischen Amazonien und dem bolivianisch-peruanischen Altiplano zweifellos bestehen, nehmen in den Durchbruchstälern der trennenden Gebirge den Charakter von Berg- und Talwinden an, während die Winde an den Abhängen dieser Täler auch wieder als Hangwinde betrachtet werden können. Wo Gebirgsländer von der Meeresküste aufsteigen, wie in Nordchile und Peru, in Natal oder am Roten Meer, werden außerdem auch die Land- und Seewinde mit in das tägliche Windsystem einbezogen. Vor allem lassen sich die lokalen Gebirgswinde meist nicht für sich allein betrachten, da sie mit der allgemeinen Zirkulation, in den Tropen vor allem mit den Passaten und Monsunen gekoppelt sind. Durch passatische Luftbewegungen entwickeln sich an der Ostseite der tropischen Anden von Tucuman in NW-Argentinien bis Nordperu und ebenso an der Ostseite der afrikanischen Hochländer vom Kapland bis nahe an den Äquator Steigungsniederschläge, die an Gebirgskämmen, Plateaurändern und Wasserscheiden in scharfer Begrenzung ihr Ende erreichen.

Diese passatischen Steigungswinde werden aber durch die Gebirgswinde im tageszeitlichen Gang differenziert, tagsüber verstärkt, nachts unterbunden oder abgeschwächt. Besondere Wirkungen entstehen in den tiefen Durchbruchstälern solcher windexponierter Gebirgshänge. Sie stellen tagsüber für die Steigungswinde Windpforten ersten Ranges dar, entwickeln aber dadurch auch wieder lokale Zirkulationssysteme, durch die im Talgrund Trockenheit entsteht, die sich zur Wüstenhaftigkeit steigern

kann (NE-Bolivien). Dadurch kommt es auch zu einer für Tropengebirge sehr bezeichnenden Anordnung von Vegetation und Landschaft, wenn solche trocken-heißen Tallandschaften („Valles“ der Anden) von feuchten Höhenzonen mit gebirgswärts ausklingenden Wolkenbänken und Nebelwäldern überlagert werden (Abb. 3).

Wo die allgemeine Zirkulation nicht gegen das Gebirge gerichtet ist, können Hang- und Ausgleichswinde in reiner Form entstehen. Hierher möchte ich die tageszeitlichen Winde an der Westabdachung der tropischen Anden von Nordchile und Peru rechnen. Beiderseits des Roten Meeres und des Golfes von Aden liegen die Verhältnisse einigermaßen kompliziert, weil dort schon durch die Senke des Roten Meeres eine Veränderung der Zirkulation des Tieflandes verursacht wird. Zwischen dem Roten Meer und dem Hochland von Eritrea und Nubien besteht den größten Teil des Jahres ein kräftiger, täglicher Luftaustausch, der nur in den Monaten des vollen SW-Monsuns unterbrochen wird. Da ein ähnliches System von Gebirgswinden auch in dem arabischen Vis-à-Vis von Jemen und Asir herrscht, kommt beiderseits des südlichen Rotmeergrabens zu der geologisch-tektonischen auch eine bemerkenswerte klimatische Symmetrie, daher eine spiegelbildliche Anordnung der Witterungs-, Vegetations- und Landschafterscheinungen.

Es muß darauf verzichtet werden, die behandelten Phänome auch noch in anderen Teilen der Tropen und Subtropen zu untersuchen. Mittelamerika und Mexiko, Nordindien und Himalaja und Vorderasien bieten dazu Möglichkeiten. Die Vegetationsverhältnisse im Indus-Durchbruchstal und im Tal des oberen Satledsch erinnern sehr stark an die oben behandelten Beispiele. Auch das oberste Gangestal (Bhagirathi-Tal) bei Uttarkashi ist ein ganz trockenes, von sukkulenten Euphorbien bewachsenes Gebirgstal an der Luvseite des zentralen Himalaja, über dem in den Höhen feuchteste Monsunwälder wuchern. In Nordost-Anatolien im Gebiete des Tschorochtales und des Harsittales findet nach Schilderungen, die ich H. Lembke⁶⁷⁾ und H. Louis verdanke, ein Luftaustausch zwischen dem Pontus und dem Binnenhochland über die wetterscheidenden pontischen Randketten statt, bei dem Gebirgswinde mit im Spiel sind. Unter der Wirkung sommerlicher Etesien sind die Nordabdachungen tiefend feucht, die Nebel der Steigungswinde bilden auf dem Gebirgskamm eine Wolkenmauer, ohne ihn zu überschreiten, die Talschluchten aber sind von dünnen Tragantsteppen mit Wacholderbüschen eingenommen. In all diesen Fällen wäre eine besondere Beobachtung und Messung der meteorologischen Elemente und eine Kartierung der Vegetation erwünscht, um weitere Aussagen machen zu können.

Es läge auch nahe, eine Beziehung zwischen den Berg- und Talwinden der Alpentäler und der Niederschlagsverteilung in ihnen zu suchen. Besonders im Schweizer Wallis lassen die großen klimatischen Gegensätze die Vermutung aufkommen, daß die dort besonders heftigen Talwinde an der Verteilung der Hydrometeore stark beteiligt sind. Nach der neuen schweizerischen Niederschlagskarte⁶⁸⁾ besteht neben der bekannten Trockeninsel im Rhonetal oberhalb des Rhoneknies eine zweite noch ausgeprägtere Trockeninsel (53 mm mittl. Jahresniederschlag) im Vispertal bei Staldenried und Grächen, also zwischen dem Monte Rosa-Massiv und dem Berner Oberland. Der Walliser Talwind, der zwischen St. Maurice und Brig entwickelt ist, erreicht maximal Stärken von 10—14 m/sec. Seine austrock-

nende Wirkung ist oft hervorgehoben worden und H. G a m s⁶⁹⁾ zeigte im einzelnen seine Wirkung auf die Vegetation. Über diese trockene Talsohle schieben sich aber auch hier in der Höhe vom Talausgang her ausgesprochene Nebelgürtel an den Berghängen in das Gebirge vor, im allgemeinen zwischen 1200 und 2000 m, in der Vegetation durch feuchte ozeanische Bergwälder mit Edeltanne (*Abies*), in der unteren Stufe auch durch Rotbuchenwälder (*Fagus*) zum Ausdruck kommend. Gegen das Gebirgsinnere keilen sie aus. Die Nebel entstehen an den Hängen und Talflanken durch seitliches Aufsteigen und Aufquellen der Luft, sie lassen aber das Haupttal völlig frei, das sich dadurch eines reichen Sonnen-genusses erfreut. Die Situation in diesem am höchsten aufragenden und am tiefsten zertalten Teil der Alpen ist also bezüglich Lokalwind, Niederschlag und Vegetation derjenigen nicht unähnlich, die wir in den tropischen Gebirgstälern kennengelernt haben.

Nachtrag:

Über die S. 167-174 behandelten Witterungsverhältnisse im Bereich des Roten Meeres erschien vor kurzem eine vorzügliche Bearbeitung, die mir erst nach der Drucklegung der vorliegenden Abhandlung durch die Freundlichkeit von Herrn H. F l o h n bekannt geworden ist, nämlich:

Weather in the Indian Ocean to Latitude 30° S and Longitude 95° E, vol. II, Local Information, Pt. I, Red Sea. M. O. 451 b (1). London, His Majesty's Stationery Office, 1951. 109 S.

Die dort in Text, Tabellen und Kärtchen mitgeteilten genauen Beobachtungen über Wind, Bewölkung, Temperatur und Feuchtigkeit an den Küsten des Roten Meeres und über das allgemeine Wettergeschehen des Gebietes bringen eine wesentliche Verfeinerung der bisherigen Kenntnisse. Die im vorstehenden mitgeteilten Beobachtungen und Ableitungen für die tageszeitlichen Gebirgswinde passen sich in dieses Bild ohne weiteres ein.

Literatur

1. Troll, C.: Thermische Klimatypen der Erde. *Pet. Geogr. Mitt.* 89, 1943, S. 81 ff.
Ders.: Tatsachen und Gedanken zur Klimatypenlehre. *Geogr. Studien, Festschr. f. J. Sölch.* Wien 1951.
2. Ders.: Die Frostwechsellhäufigkeit in den Luft- und Bodenklimaten der Erde. *Meteor. Z.*, 60, 1943, S. 161 ff.
3. Ders.: Strukturböden, Solifluktion und Frostklimata der Erde. *Geol. Rdsch. (Klimah. heft)*, 34, 1944, S. 545 ff.
4. Ders.: Die Formen der Solifluktion und der periglazialen Bodenabtragung. *Erdkunde, Archiv f. wiss. Geogr.*, I, 1947, S. 162 ff.
5. Ders.: Der Büsserschnee (Nieve de los Penitentes) in den Hochgebirgen der Erde. *Pet. Geogr. Mitt., Erg. Heft* 240, 1942.
6. Ders.: Der asymmetrische Aufbau der Vegetationszonen und Vegetationsstufen auf der Nord- und Südhalbkugel. *Jahresber. Geobot. Forsch. Inst. Rübel in Zürich*, 1947, S. 46 ff.
7. Catalano, L. R.: Datos hidrológicos del Desierto de Atacama. *Direcc. Gen. de Minas, Publ.* 35, Buenos Aires 1927.
8. Wagner, A.: Hangwind — Ausgleichsströmung — Berg- und Talwind. *Meteor. Z.* 49, 1932, S. 209 ff.
Ders.: Neue Theorie des Berg- und Talwindes. *Ebenda* 49, 1932, S. 329 ff.
Ders.: Theorie und Beobachtungen der periodischen Gebirgswinde, *Beiträge zur Geophysik Bd. 52*, 1938, S. 408—449.
9. Troll, C. und Wien, K.: Der Lewisgletscher am Mount Kenya. *Glaciers and Climate. Geogr. Ann.* 1949, S. 257 ff.
10. Pratz, O.: Der geologische Bau der Kanarischen Inseln mit besonderer Berücksichtigung von Teneriffa und Madeira. *Schrift. Physik. Ökon. Ges. Königsberg in Preußen*, 65, II, 1926, S. 139.
11. Defant, A.: Zur Theorie der Hangwinde, nebst Bemerkungen zur Theorie der Berg- und Talwinde. *Arch. f. Meteor., Geophys. u. Klimatol., Ser. A, I*, 1949.
12. Troll, C.: Die Cordillera Real. *Zeitschr. Ges. f. Erdkde.* Berlin 1929, S. 279 ff.
13. Ders.: a.a.O. 1944, S. 671.
Kühn, F.: Vegetationsbilder aus dem Nordwesten Argentiniens. *Vegetationsbilder*, hrsg. von H. Walter (Karsten u. Schenck), 26. Reihe, H. 2, 1942.
14. Bowman, I.: *Desert Trails of Atacama.* New York 1924, S. 276 bis 278.
15. Ders.: *The Andes of Southern Peru.* New York 1916, S. 121 ff.
16. *Peruvian Meteorology (1892—1895).* *Ann. Astron. Observ. of Harvard College*, Vol. 39, Pt. 2, Cambridge Mass. 1906.
17. Bowman, I.: *Desert Trails of Atacama.* New York 1924, Fig. 27, S. 79.
18. Hettner, A.: Regenverteilung, Pflanzendecke und Besiedlung der tropischen Anden. *Festschrift Ferd. v. Richthofen.* Berlin 1893, S. 212 u. 220.
19. Hoek, Bergfahrten in Bolivien. *Ztsch. d. D. Oe. Alpenvereins*, 36, 1905, S. 171.
Hauthal, R.: *Reisen in Bolivien und Peru.* Leipzig 1911.
Herzog, Th.: *Vom Urwald zu den Gletschern der Kordillere.* Stuttgart, 2. Aufl. 1923, S. 176.
20. Bowman, I.: *The Andes of Southern Peru.* New York 1916, S. 153.
21. Wagner, A.: *Neue Theorie des Berg- und Talwindes*, a.a.O. S. 339.
22. Troll, C.: *Reisen in den östlichen Anden Boliviens.* *Pet. Geogr. Mitt.* 1929, S. 181—188, Taf. 13.
23. Bowman, I.: *The Andes of Southern Peru.* New York 1916, S. 154.
24. Weberbauer, A.: *Die Pflanzenwelt der peruanischen Anden.* Leipzig 1911, S. 174/75 u. 245.

25. Weberbauer, A.: Die Vegetationskarte der peruanischen Anden zwischen 5° und 17°. *Peterm. Geogr. Mitt.* 1922.
26. Spruce: Notes of a Botanist on the Amazon and Andes. 2 vls. London 1908.
27. Weberbauer, A.: Die Pflanzenwelt der peruanischen Anden, a.a.O. S. 154 ff.
28. Wolf, Th.: Geografia y Geologia del Ecuador. Leipzig 1892, S. 404.
29. Chapman, F. M.: Distribution of Bird Life in Colombia. *Bull. Amer. Mus. Natural History*, 36, New York 1917.
30. Sievers, W.: Karten zur physikalischen Geographie von Venezuela. *Pet. Geogr. Mitt.* 1896, Taf. 15.
31. Ders.: Die Cordillere vom Mérida. *Geogr. Abhandl.* III/1. Wien und Olmütz 1888.
32. Marloth, R.: Das Kapland, insonderheit das Reich der Kapflora, das Waldgebiet und die Karroo pflanzengeographisch dargestellt. *Wiss. Ergebnisse der Dt. Tiefsee-Expedition auf „Valdivia“ 1898—99. Bd. II, Tl. 3.* Jena 1908.
- Adamson, R. S.: The Vegetation of South Africa. London 1938. S. 127.
33. Henkel, J. S.: Types of Vegetation in Southern Rhodesia. *Proceed. of the Rhodesian Scient. Ass.*, vol. 30, 1931.
34. Scaëtta, H.: Les Précipitations dans le Bassin du Kivu et dans les Zones limitrophes du Fossé Tectonique. *Inst. Roy. Colon. Belge, Mém., Collect. in 4°, T. II, fasc. 2, Bruxelles* 1933.
- Ders.: Le Climat Ecologique de la Dorsale Congo-Nil. Ebenda T. III, 1934.
35. Fantoli, A.: Elementi preliminari del Clima dell' Etiopia. Firenze 1940.
36. Troll, C. u. Schottenloher, R.: Ergebnisse wissenschaftlicher Reisen in Ätiopien, I. *Peterm. Geogr. Mitt.* 1939.
37. Troll, C.: Wüstensteppen und Nebeloasen im südnubischen Küstengebirge. *Ztsch. Ges. f. Erdk. zu Berlin*, 1935, S. 241—281.
38. Lewis, A. D.: Rainfall Normals up to the end of 1925. *Union of South Africa. Dep. of Irrigation, Meteorol. Office, Capetown* 1927.
39. Marloth, R.: I. Results of Experiments on Table Mountain for ascertaining the Amount of Moisture deposited from the South-East Clouds. 2. Results of further Experiments etc. *Transactions South Afric. Philosoph. Soc.*, vol. XIV/4 u. XVI/2. 1903 u. 1905.
40. Marloth, R.: Das Kapland, a.a.O.
41. Phillips, J. F. V.: Forest-Succession and Ecology in the Knysna Region. Pretoria 1931.
42. Schonland, S.: Phanerogamic Flora of the Divisions of Uitenhage and Port Elizabeth. *Botan. Survey of South Africa, Mem. Nr. 1.* Pretoria 1919.
43. Troll, C.: Koloniale Raumplanung in Afrika. *Ztsch. Ges. f. Erdk. zu Berlin*, 1941. S. 1—41, bes. Taf. 3.
44. Bews, J. W.: An Oecological Survey of the Midlands of Natal, with special Reference to the Pietermaritzburg District. *Annals Natal Museum*, vol. II, Nr. 4. Pietermaritzburg 1913.
45. Mann, R. J.: The Colony of Natal. London 1859.
46. Bews, J. W.: The Vegetation of Natal. *Annals of the Natal Museum*, II, 3. Pietermaritzburg 1912.
- Ders.: Some Aspects of Botany in South Africa and Plant Ecology in Natal. *South Afr. Journ. of Science*, 18, 1921.
47. Lewis, A. D.: Rainfall Normals, a.a.O.
48. Troll, C.: Termiten-Savannen. *Länderkundliche Forschung, Festschrift für N. Krebs.* Stuttgart 1936.
49. Greenway, P. J.: The Vegetation of Mpapwa, Tang. Terr. *The Journ. of Ecology*, 21, 1933.
50. Gillman, C.: First Memorandum on the Mukundokwa Valley Floods of 1930. — Further Report on the Kidete Area of the Central Railway etc. *Tanganyika Railways and Ports Services.* Daressalam 1934.
51. Houy, R. u. Tiller: Reise durch Südussagara. Ergebnisse einer Reise durch das Zwischenseengebiet Ostafrikas 1911. *Mitt. a. d. Dt. Schutzgebieten, Erg. Heft 6,* Berlin 1913.
52. Paap, W.: Die Niederschlagsverhältnisse des Schutzgebietes Deutsch-Ostafrika. *Aus d. Archiv. d. Dt. Seewarte*, 53. Bd., Nr. 3. Hamburg 1934.
53. Volkens, G.: Der Kilimandscharo. Berlin 1897. S. 16.
54. Weigt, E.: Das Gebiet von Kihairo. *Kol. Rundschau*, 29, 1938.

55. Bauer, G.: Luftzirkulation und Niederschlagsverhältnisse in Vorderasien. Gerlands Beitr. z. Geophysik, 45, 1935.
56. Bauer, G.: a.a.O. und Fantoli, A.: a.a.O.
57. Troll, C. und Schottenloher, R.: a.a.O.
Troll, C.: Wüstensteppen etc. 1935 a.a.O.
58. Handbuch für das Rote Meer und den Golf von Aden. Marineleitung Hamburg 1926.
59. Troll, C. u. Schottenloher, R.: a.a.O.
60. Troll, C.: Bericht über eine Forschungsreise durch das östliche Afrika, I—III. Kolon. Rundschau, 27, 1935.
61. Wien, C.: Klimatographische Witterungsschilderung Nr. 40. Eritrea. Annalen d. Hydrogr. u. Merit. Meteorol. 1935. S. 287—89.
62. Derege di Donato, G.: Contributo alla conoscenza del regime pluviometrico nella Colonia Eritrea. L'Agricoltura Coloniale, 28, 1935.
63. Bauer, G.: a.a.O.
64. Troll, C.: Wüstensteppen etc. a.a.O.
65. v. Wissmann, H.: Arabien und seine kolonialen Ausstrahlungen. Lebensraumfragen europäischer Völker, Bd. II. Leipzig 1941.
Rathjens, C. u. v. Wissmann, H.: Südarabienreise, Bd. 3. Landeskundliche Ergebnisse. Abhandl. a. d. Gebiet d. Auslandskunde, Bd. 40. Hamburg 1934.
66. Rathjens, C. u. v. Wissmann, H.: Zum Klima von Mittel- und Südarabien. Annalen der Hydrogr. u. Maritim. Meteorol. 1935.
67. Lembke, H.: Klima und Höhenstufen im nordostanatolischen Randgebirge. Zeitsch. Ges. f. Erdk. Berlin, 1939.
68. Uttinger, H.: Die Niederschlagsmenge in der Schweiz 1901—1940. Mit Niederschlagskarte der Schweiz 1:500 000. Schweiz. Met. Zentralanstalt, Zürich 1949.
69. Gams, H.: Von den Follatères zur Dont de Morcles. Vegetationsmonographie aus dem Wallis. Beiträge z. Geobotan. Landesaufnahme, 15. Bern 1927.

Tabelle I.
Die klimatischen Vegetationsgürtel der Tropen nach verschiedenen Autoren.

Zahl der humid. Monate	Jaeger 1945	Schweinfurth 1868	Waibel 1922	Shanté 1923	Passarge u. Jessen	Mildbread	Thorbecke	Troll 1941	Gillman 1949	Chipp 1930	Chevalier	Hurst/Phillipps 1931	Burt 1938			
12																
11	Regenwald	Waldregion (Regenwald)	Regenwald	Rainforest	Regenwald	Regenwald	Regenwald	Regenwald	Forest	Closed Forest (Rainforest)	Forêt aequatoriale	Rainforest	Trop. lowland evergreen rain forest and Trop. semi-evergreen rainforest			
10																
9																
8	Feucht-savanne	Galerie-wald-savanne	Savanne	High grass low tree savanna	Feuchtsteppe (Galerie-waldsteppe)	Breitlaub-savanne	Savanne	Meso-phyti-scher Feuchtsteppe	Wooded grassland	Afzelia-Butyrospermum-Lophira	Zone guinéenne ou des savannes subforestières avec galeries	Open savannah	Tropical moist deciduous Forest and grassland			
7																
6	Trocken-savanne (anbau-fähig)	Waldregion	Trocken-wald	Dry-forest	Trockensteppe (Uferwaldsteppe)	Trocken-wald	Steppe und Trocken-wald	Falllaub-wald	Woodland and Bushland intermediate	Combretaceae and Open Woodland	Zone soudanaise ou de la brousseparc	Savannah-forest	Tropical dry woodland and grassland			
5				Acacia										tall grass savanna	Laub- u. Dorn-gehölz	Dorn-savanne
4				Dorn-savanne (nicht anbau-fähig)										Steppen-region	buschsteppe	Dorn-
3																
2																
1	Halbwüste	Wüstensteppe	Halbwüste	Desertscrub Desert grass		Wüstensteppe	Wüstensteppe	Wüstensteppe	Semidesert		Zone subsahar-ienne	Shrub Steppe	Tropical desert shrub			
0	Wüste	Wüste	Wüste	Desertscrub Desert	Wüste	Wüste	Wüste	Wüste	Desert	Desert-Acacia Absol. Desert	Zone saharienne	Desert	Tropical desert			

Tabelle II.
Die Zahl der humiden Monate und die tropischen Vegetationsgürtel.

Zahl der humid. Monate	Vegetationsgürtel n. Jaeger	Vegetationsformation		Afrika		Südamerika	
12	Trop. immergr. Regenwald	Immergrüner ombrophiler Regenwald		Kongobecken Guineaküste Madagaskar (einschl. Berg- und Nebelwälder der afrikanischen Gebirge)		Amazonenbecken, Bergland von Guayana, tropische Anden, Ostabfall des brasilianischen Berglandes (einschl. Berg- und Nebelwälder der Anden)	
11							
10							
9		Gehölzflur	Grasflur	Gehölzflur	Grasflur	Gehölzflur	Grasflur
8	Feuchtsavanne	Laubwerfender tropophiler Feuchtwald (Monsunwald)	Übermannshohes Gras, breitlaubige, laubwerfende Bäume immergrüne Galeriewälder. (Mehrere edaphische Savanntypen)	Außenzone des Kongoregenwaldes. Monsunwälder in Oberguinea.	Savannengürtel um die Regenwaldgebiete: Sudan, Uganda, Tanganjika, südliches Kongobecken, Nordangola.	Außenzone des Amazonasregenwaldes, Monsunwälder in Venezuela, Nordkolumbien, Paraguay, Paranágebiet, Bergland v. Monte Grande, einzelne Stellen in den Campos, Abhang der Anden, in NW-Argentinien z. T. subtrop.	Llanos (Orinoco, Mamoré), Campos Brasiliens, Sabanas in Venezuela, Nordkolumbien, Küste von Ecuador, Hochtäler der Anden.
7							
6	Trockensavanne	Regenrüner, laubwerfender Trockenwald. Fiederlaubige dornlose Bäume mit kniehohem Grasunterwuchs. In den trockensten Teilen einzelne Dornbäume.	Etwa brusthohes Gras mit Palmen und laubwerfenden Bäumen. In den trockensten Teilen einzelne Dornbäume.	Miombo-u. Mopanewälder auf der Lundaschwelle, i. Tanganjika, Angola, Rhodesien, Nordkalahari u. Mozambique, Trockenwälder i. Nigeria, Dahomey, Adamaua und Abessinien.	Steppen im Sudan, Tanganjika, N-Somali, N-Kalahari, Mozambique mit Combretum u. Terminalia.	Zebilwälder in NW-Argentinien und Bergland von Chiquitos. Mimosenwälder in NE-Brasilien, Venezuela und Nordkolumbien.	Steppen in Venezuela, N-Kolumbien, Küstenland von Ecuador und Teile des Chaco.
5							
4	Dornsavanne	Dornwald mit Dorngestrüpp-Unterwuchs (auch Sukkulentenbäume).	Etwa kniehohes Gras, oft büschelartig über die Fläche verteilt, mit Dorn-, Halb- und Sukkulentensträuchern.	Dornwälder im Sudan, (Sahelregion) Nord Adamaua, Tschadsee, Nord-Kalahari.	Dornsteppen im Sudan, Somaliland, Ostafrika, (Tanganjika), Kalahari.	Caatinga in NE-Brasilien. Dornwald des Chaco.	Dornsteppen im venezolanisch-kolumbianischen Küstengebiet. Andine Trockentäler. Gran Chaco.
3							
2							
1	Halbwüste	Halbstrauch- und Sukkulentensteppe einzelne Grasbüschel in großen Abständen		Dornstrauch- u. Sukkulentensteppen des Sudan, Somalilandes und der Karru (subtr.)		Dornstrauch- u. Sukkulentensteppe an wenigen Stellen der N-Küste, NW-Küste von Peru und trockenste Teile NE-Brasiliens.	
0	Wüste	fast vegetationslos		Sahara, Namib		Atacama	

Tabelle III.

Die Zahl der humiden Monate und die subtropischen Vegetationsgürtel.

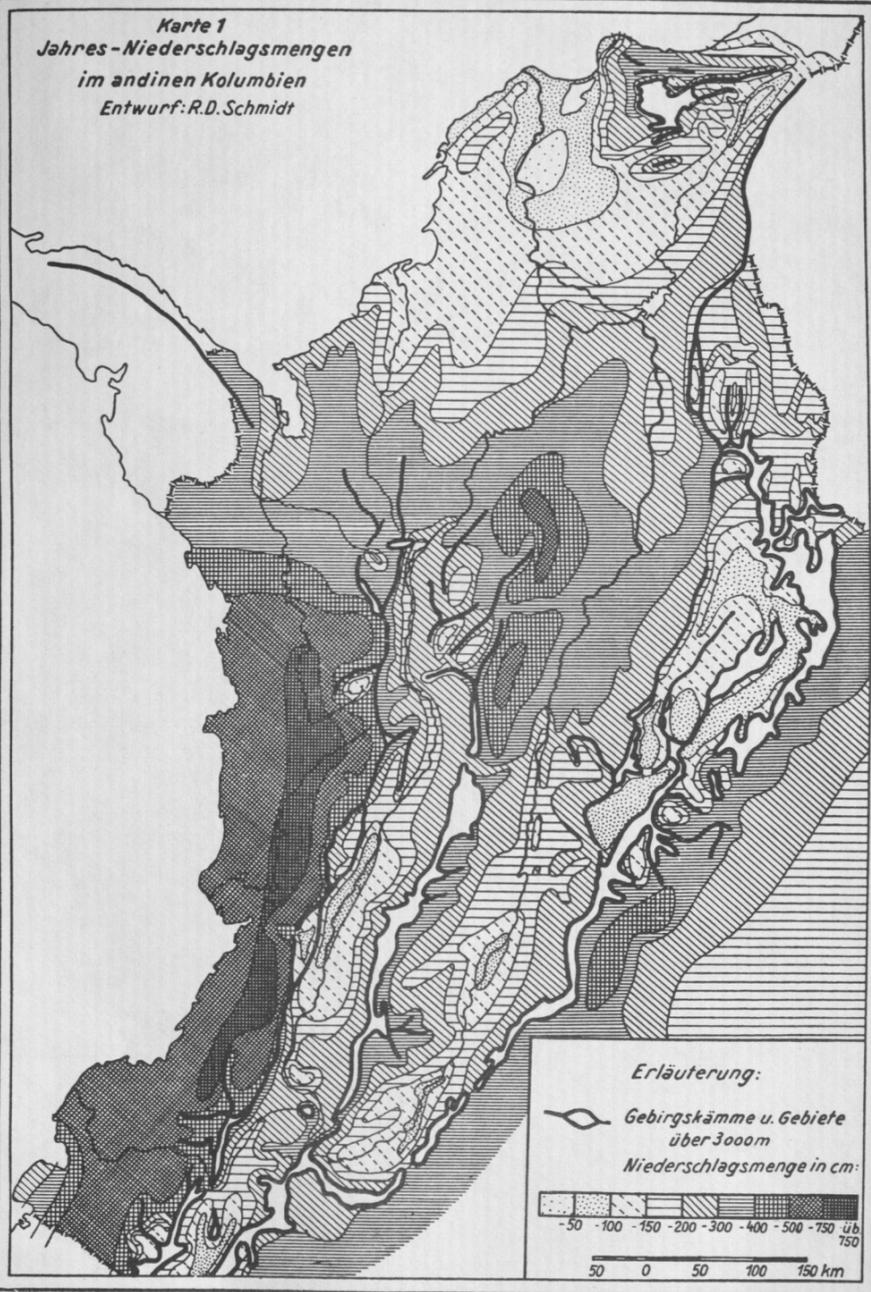
Zahl der humid. Monate	Sommerhumide Rand- und Subtropen			Winterhumide Subtropen		
	Afrika	Südamerika		Afrika		Südamerika Chile
		Atlasländer	Kapland			
12	Subtropisch temperierter Regenwald und Küstenbusch (SE Afrika und Knysnaforest)	Subtrop. Höhenwald (Araucarienwald Brasiliens und Podocarpuswald in NW-Argentinien)	Feuchte Pampa (Argentinien)	Feuchte Wälder	Feuchte Wälder	Patagonisch-feuerländischer Regenwald. (Gemäßigte Breiten)
11				(Quercus lusitanica, Cedrus libanotica)	(in den Knysnaforest überleitend)	Außertropischer Mischwald (Südbuchen)
10	Grasland des Hooge- und Mittel-Veldes (SE-Afrika)	Trockene Pampa (Argentinien)	Hartlaubgehölze (feucht) Quercus suber (Korkeiche) Pinus halepensis (Aleppokiefer)	Hartlaubgehölze (feucht)	Hartlaubgehölze (feucht)	Hartlaubgehölze (feucht)
9						
8	Busch-Veld (SE-Afrika)	Monte und Chañar (Westargentinien)	Hartlaubgehölze (trocken) (Quercus ilex)	Hartlaubgehölze (trocken)	Hartlaubgehölze (trocken)	Hartlaubgehölze (trocken)
7						
6	Thornveld (SE-Afrika)	Steppen der Schotthochflächen	Dornsavanne (Dornsteppe)	Dornsavanne (Dornsteppe)	Dornsavanne (Dornsteppe)	Dornsavanne (Dornsteppe)
5						
4	Karru (Südafrika)	(Wüstensteppe) (Westargentinien)	Halbwüste (Wüstensteppe)	Halbwüste oder Wüstensteppe (Karru)	Halbwüste oder Wüstensteppe	Halbwüste oder Wüstensteppe
3						
2	Wüste (Namib)	(Wüste)	Wüste (Sahará)	Wüste (Namib)	Wüste (Atacama)	Wüste (Atacama)
1						
0						

Tabelle IV.

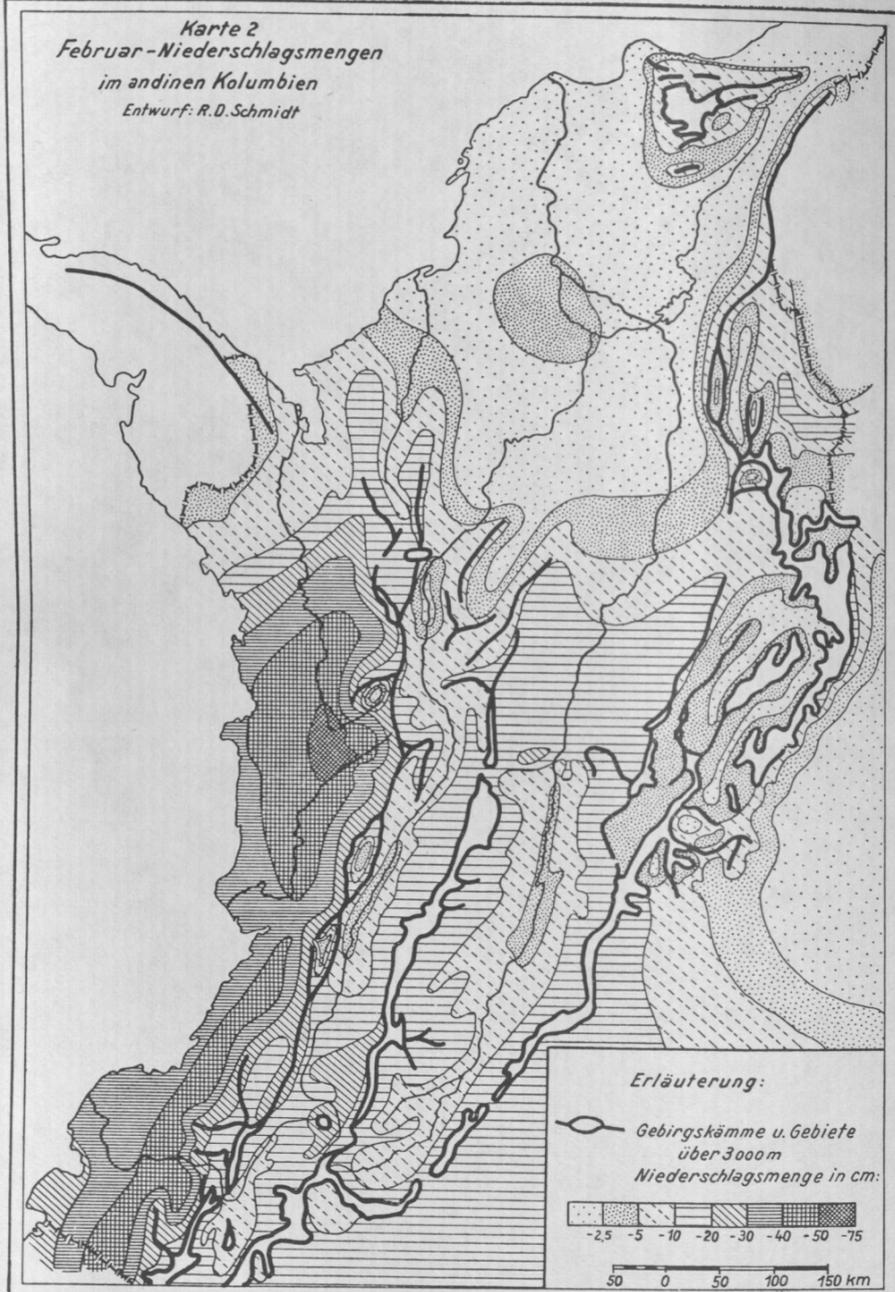
Horizontale und vertikale Klima- und Vegetationsgürtel der tropischen Anden.

Zahl der humiden Monate	Tierra caliente	Tierra templada	Tierra fria	Tierra helada
12	Immergrüner tropischer Regenwald	Immergrüner tropischer Bergwald	Immergrüner tropischer Höhen- und Nebelwald	Páramo
11				
10				
9	Feuchtsavanne und regenrüner Feuchtwald	Feucht-Valle	Feucht-Sierra	Feucht-Puna
8				
7				
6	Trockensavanne und regenrüner Trockenwald	Trocken-Valle	Trocken-Sierra	Trocken-Puna
5				
4				
3	Dornsavanne und regenrüner Dornwald	Dorn-Valle	Dorn-Sierra	Dorn-Puna
2				
1	Halb-Wüste	Halbwüsten-Valle	Wüsten-Sierra	Wüsten-Puna
0	Wüste	Wüsten-Valle		

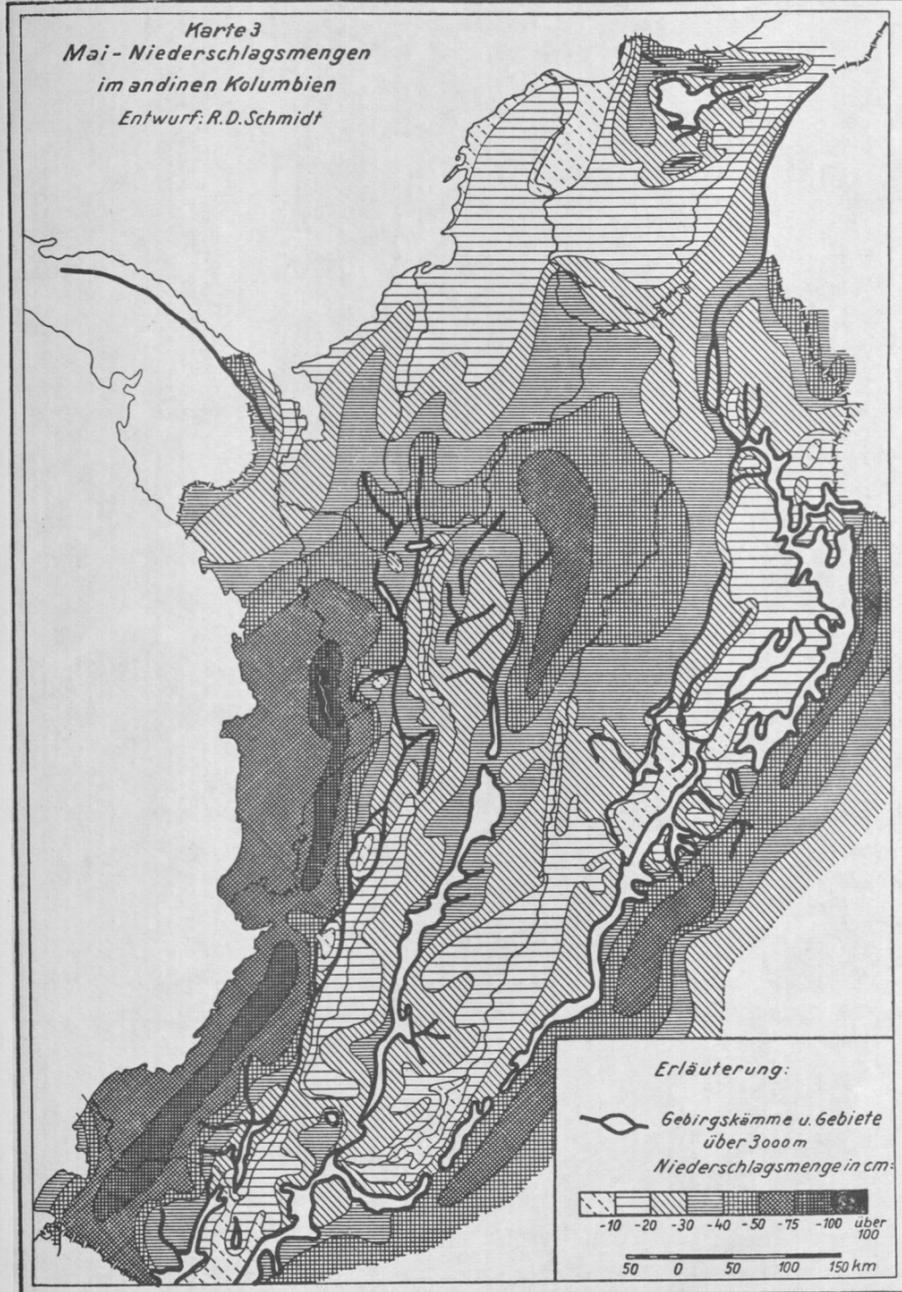
Karte 1
Jahres-Niederschlagsmengen
im andinen Kolumbien
Entwurf: R.D. Schmidt



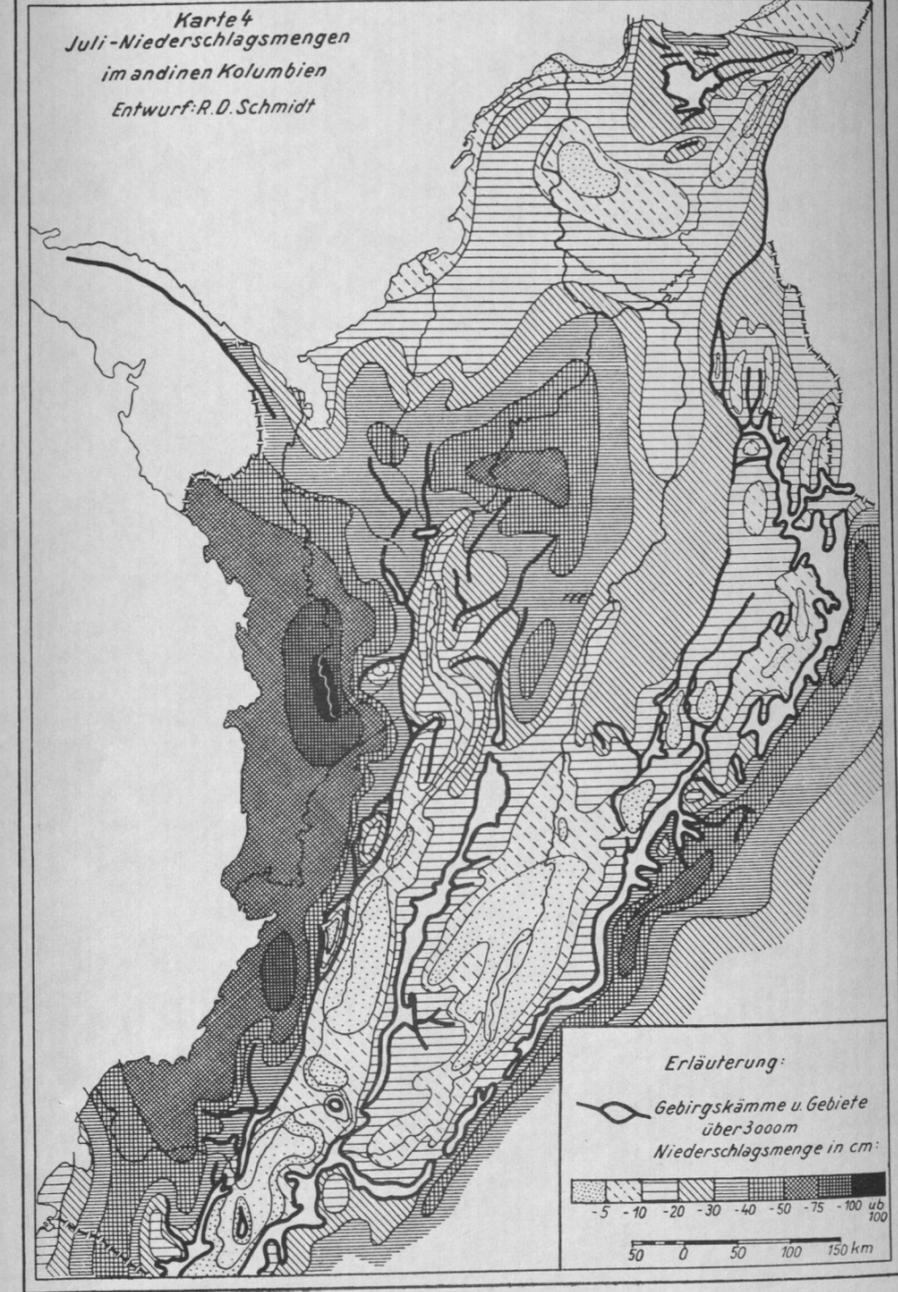
Karte 2
Februar-Niederschlagsmengen
im andinen Kolumbien
Entwurf: R.D. Schmidt



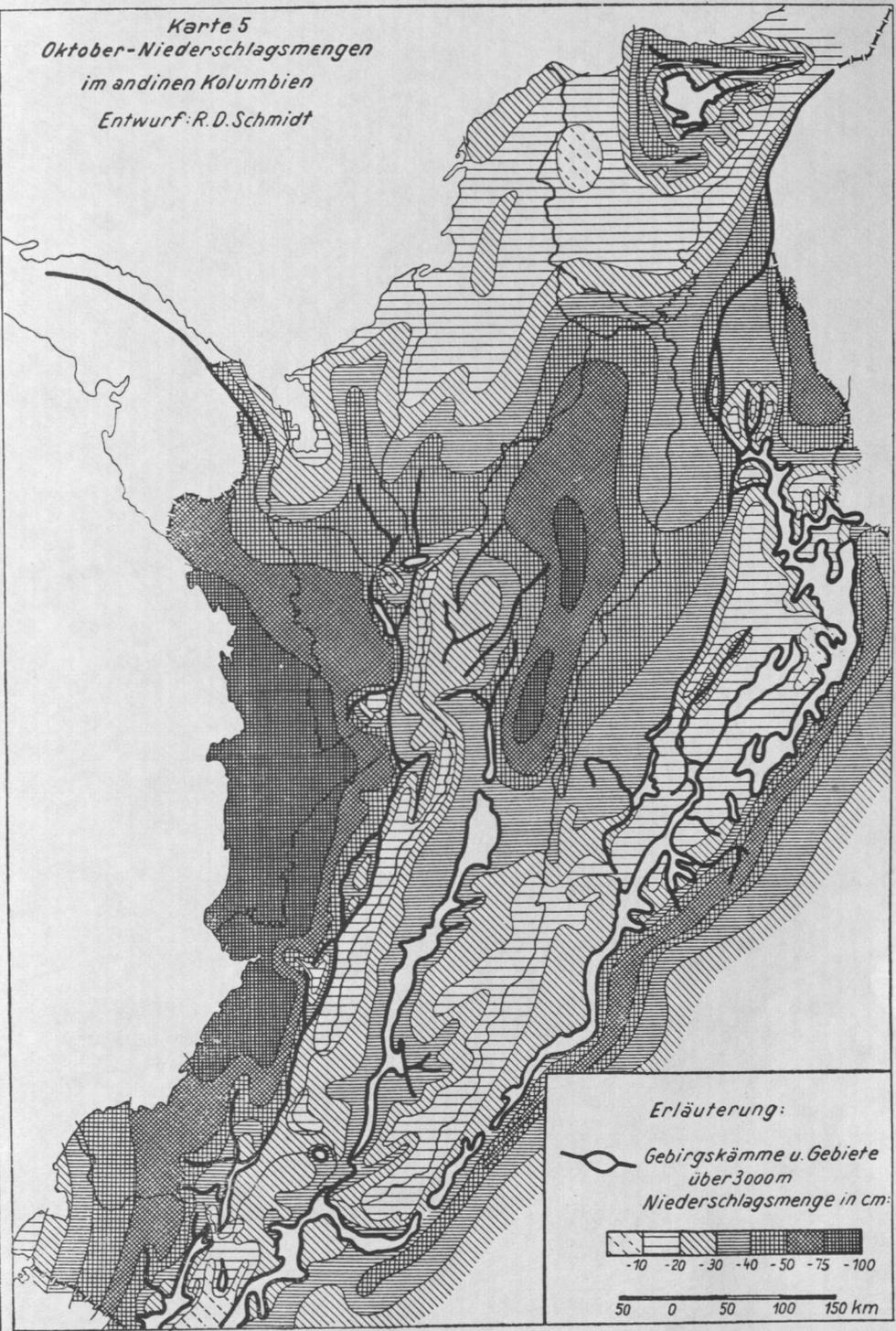
Karte 3
Mai-Niederschlagsmengen
im andinen Kolumbien
Entwurf: R.D. Schmidt



Karte 4
Juli-Niederschlagsmengen
im andinen Kolumbien
Entwurf: R.D. Schmidt

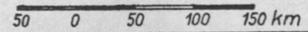
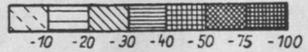


Karte 5
Oktober-Niederschlagsmengen
im andinen Kolumbien
Entwurf: R. D. Schmidt



Erläuterung:

 *Gebirgskämme u. Gebiete*
über 3000m
Niederschlagsmenge in cm:



Bei den mit * bezeichneten Stationen waren für einen oder höchstens zwei Monate nur 2 Werte erhältlich.

Nr.	Station	Höhe (m)	Breite	Länge	Zahl d. Beob. Jahre (19.....)	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli	August	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr	Quelle	
I. Karibisches Gebiet																				
1.	Riohacha	ca. 5	11° 33'	72° 55'	4 1/2	31-37	7	1	11	19	130	79	16	56	88	171	188	36	801	22-24
2.	Las Vegas	ca. 1200	11° 12'	73° 54'	4 1/2	32-37	189	54	55	90	226	278	214	230	297	494	762	582	3471	22-24
3.	Las Nubes	ca. 1400	11° 11'	73° 58'	4	31-37	18	9	20	71	473	468	398	410	431	475	301	167	3250	22-24
4.	Pueblviejo	°	11° 0'	74° 16'	3 1/2	32-37	0	0	0	7	102	129	31	147	102	182	146	3	849	22-24
5.	Barranquilla	4	10° 50'	74° 40'	16	12-27	0	0	5	41	83	91	41	91	156	233	92	7	842	23, 24, 28
6.	Aracataca	°	10° 42'	74° 8'	3 1/2	31-36	1	0	6	94	254	234	203	189	340	423	336	70	2150	23-24
7.	Sabanalarga	53	10° 38'	74° 54'	4 1/2	31-37	12	15	34	67	205	163	231	404	133	184	250	59	1766	22-24
8.	Cartagena	5	10° 25'	75° 41'	3 1/2	27, 31, 32, 34, 35	0	0	0	13	90	151	67	101	93	198	226	27	966	21-24
9.	Jesus del Rio	18	9° 51'	74° 52'	5 1/2	26-29, 34, 35	16	6	39	43	140	122	101	148	123	109	81	8	936	23, 24, 28
10.	Carmen	132	9° 43'	75° 6'	3 1/2	31-36	34	15	45	115	121	126	155	170	210	134	118	23	1267	22-24
11.	Chiriguaná	50	9° 22'	73° 36'	3 1/2	31-35	30	17	18	60	204	186	111	187	207	316	396	65	1797	22-24
12.	Sincedejo	200	9° 18'	75° 24'	3 1/2	31-37	30	1	41	42	214	148	139	197	190	200	132	35	1369	22-24
13.	Mompós	33	9° 15'	74° 26'	4	32-37	14	0	44	63	241	167	117	276	241	312	210	53	1768	22-24
14.	Magangué	27	8° 14'	74° 45'	6	22, 23, 31-36	7	58	52	97	415	392	236	331	380	404	220	84	2676	22-24, 27
15.	Cereté	15	8° 54'	75° 48'	3 1/2	33-37	6	14	31	68	282	154	175	155	168	110	104	34	1301	23-24
16.	San Marcos	48	8° 39'	75° 9'	3 1/2	31-37	18	18	5	121	209	206	217	185	211	232	147	44	1613	22-24
17.	Majagual	70	8° 33'	74° 39'	3	33-37	0	0	28	226	325	221	502	389	325	524	314	96	2950	23, 24
18.	La Petrolea	ca. 70	8° 31'	72° 36'	3	34-37	150	40	92	221	427	194	196	297	233	545	485	215	3095	23-24
19.	Gamarra	69	8° 19'	73° 45'	4 1/2	31-37	22	2	30	91	206	208	151	100	146	242	166	31	1365	22-24
20.	Altoviento	ca. 150	8° 11'	72° 27'	3	34-37	110	131	93	165	220	106	120	96	183	440	353	364	2381	23-24
21.	Turbo*	2	8° 6'	76° 43'	3 1/2	24, 25, 32-37	75	63	77	190	246	215	207	168	268	162	582	406	2659	21-24
22.	Cáceres*	150	7° 35'	75° 21'	3	32-34	74	12	84	237	465	563	525	541	357	486	385	169	3898	22-24
II. Gebiet der Llanos																				
23.	Arauca	179	7° 5'	70° 31'	5	30-36	45	3	121	200	234	266	288	221	224	232	125	25	1984	22-24
24.	Nunchia	430	5° 38'	72° 15'	3 1/2	31-37	63	6	49	375	420	317	380	269	409	340	337	26	3021	22-24
25.	Miraflores	1432	5° 14'	73° 20'	5 1/2	31-37	58	46	48	127	307	337	273	221	220	210	89	26	1062	22-24
26.	Oroqué	143	4° 48'	71° 20'	5	32-37	15	19	87	164	195	263	184	300	163	323	168	37	1918	22-24
27.	Villavicencio	498	4° 0'	73° 37'	9 1/2	25-35	63	66	232	505	667	655	582	455	410	509	415	248	4807	21-24
28.	Acacias	440	3° 55'	73° 40'	5	30-37	209	96	335	552	724	536	616	553	422	538	497	194	5272	22-24
29.	San Martín	405	3° 43'	73° 44'	3 1/2	25-28	7	113	182	292	301	277	301	205	205	255	193	69	2400	21, 24
30.	Florencia	ca. 200	1° 40'	75° 40'	6	31-37	192	132	277	274	608	526	389	332	255	309	223	167	3684	22-24
31.	Sibundoy	2224	1° 11'	74° 55'	7	30-37	212	134	210	229	354	395	241	246	233	210	174	158	2796	22-24
32.	Mocoa	579	1° 8'	74° 38'	3 1/2	34-37	248	128	275	385	451	419	391	286	333	297	214	155	3582	23, 24
33.	Puerto Asis	°	0° 32'	75° 0'	4	30-37	221	158	300	369	452	326	267	201	184	378	340	192	3388	22-24
III. Kordillere von Bogotá																				
34.	Ocaña	1200	8° 14'	73° 22'	4 1/2	31-37	8	6	66	105	217	92	74	85	143	200	146	30	1172	22-25
35.	Cúcuta Centro	215	7° 54'	72° 31'	4 1/2	31-37	57	36	47	56	131	58	79	35	109	177	253	101	1142	22-25
36.	Cúcuta Ferrocarril	°	°	°	3 1/2	33-37	22	29	18	34	51	12	16	23	56	114	97	47	522	23-25
37.	Cáchira	2015	7° 45'	73° 3'	3 1/2	32-37	36	12	84	112	179	90	54	120	94	201	167	54	1203	22-24
38.	Pamplona	2340	7° 23'	72° 39'	3	30-33, 35, 36	11	12	55	102	184	95	81	111	90	233	103	33	1110	22-24
39.	Bucaramanga	1018	7° 7'	73° 11'	11	24, 27-37	35	70	83	81	121	83	83	89	92	143	170	79	1130	21-25
40.	Piedecuesta	982	6° 56'	73° 4'	3	34-37	51	76	137	91	129	66	124	83	107	109	131	65	1169	23-25
41.	Málaga	1237	6° 42'	72° 44'	5 1/2	31-37	37	25	60	93	155	92	69	97	156	250	176	52	1262	22-25
42.	San Gil	1095	6° 33'	73° 8'	4 1/2	30-37	47	16	62	116	206	130	178	124	140	194	143	6	1365	22-25
43.	Chitá	3005	6° 11'	72° 29'	4 1/2	30-34, 36	19	7	33	64	143	92	106	108	79	105	119	31	896	22-24
44.	Vélez	2170	6° 1'	73° 41'	7	30-37	42	47	113	239	254	148	130	136	117	244	148	51	1669	22-25
45.	Sta. Rosa de Viterbo	2520	5° 52'	72° 59'	4 1/2	32-37	30	37	58	109	146	57	56	71	100	180	148	51	1043	22-25
46.	Duitama	2590	5° 50'	73° 2'	5 1/2	31-37	36	17	38	86	102	50	77	76	78	125	106	54	845	22-24
47.	Sogamoso	2570	5° 43'	72° 56'	4	30-35	42	80	80	192	123	116	107	58	70	196	196	193	1456	22-24
48.	Leiva	2460	5° 38'	73° 32'	3 1/2	31-33, 35-37	74	50	87	113	138	32	40	74	52	120	122	101	1003	22-24
49.	Chiquinquirá	2570	5° 37'	73° 50'	7	30-37	54	31	77	84	149	82	34	64	78	148	149	87	1067	22-25
50.	Tunja	2801	5° 32'	73° 22'	15	23-37	23	31	43	78	64	62	62	57	67	104	113	30	764	21-25
51.	Samacá	2665	5° 29'	73° 29'	4	33-37	68	25	38	70	97	46	34	31	58	161	107	93	828	22-25
52.	Ubaté	2600	5° 18'	73° 40'	7	30-37	50	40	48	94	98	57	42	48	66	143	154	68	908	22-25
53.	Chocontá	2685	5° 9'	73° 41'	4 1/2	30-37	19	17	36	79	93	89	139	75	89	75	87	28	826	22-25
54.	Tensa	1650	5° 2'	73° 24'	4	30, 31, 33-37	26	11	81	86	119	160	198	178	98	67	103	24	1151	22-24
55.	Zipacuirá	2650	5° 2'	74° 0'	5 1/2	30-37	41	53	53	78	124	72	72	59	57	112	140	35	896	22-24
56.	Guasca	2717	4° 52'	73° 53'	5 1/2	30-36	40	42	39	64	86	85	89	59	49	112	111	47	823	22-25
57.	Facatativá	2630	4° 49'	73° 48'	3 1/2	31-34, 37	31	32	39	60	85	76	62	67	59	117	143	49	850	22-25
58.	La Arabia (Cipacón)	°	4° 45'	74° 22'	3 1/2	30-35	82	102	94	59	222	119	67	55	48	285	129	50	1312	22-25
59.	Madrid	2585	4° 44'	74° 16'	3 1/2	30-35	63	19	29	66	56	87	38	75	56	129	45	66	729	22-25
60.	Usaquén	2692	4° 41'	74° 4'	6 1/2	30-37	61	57	78	96	130</									

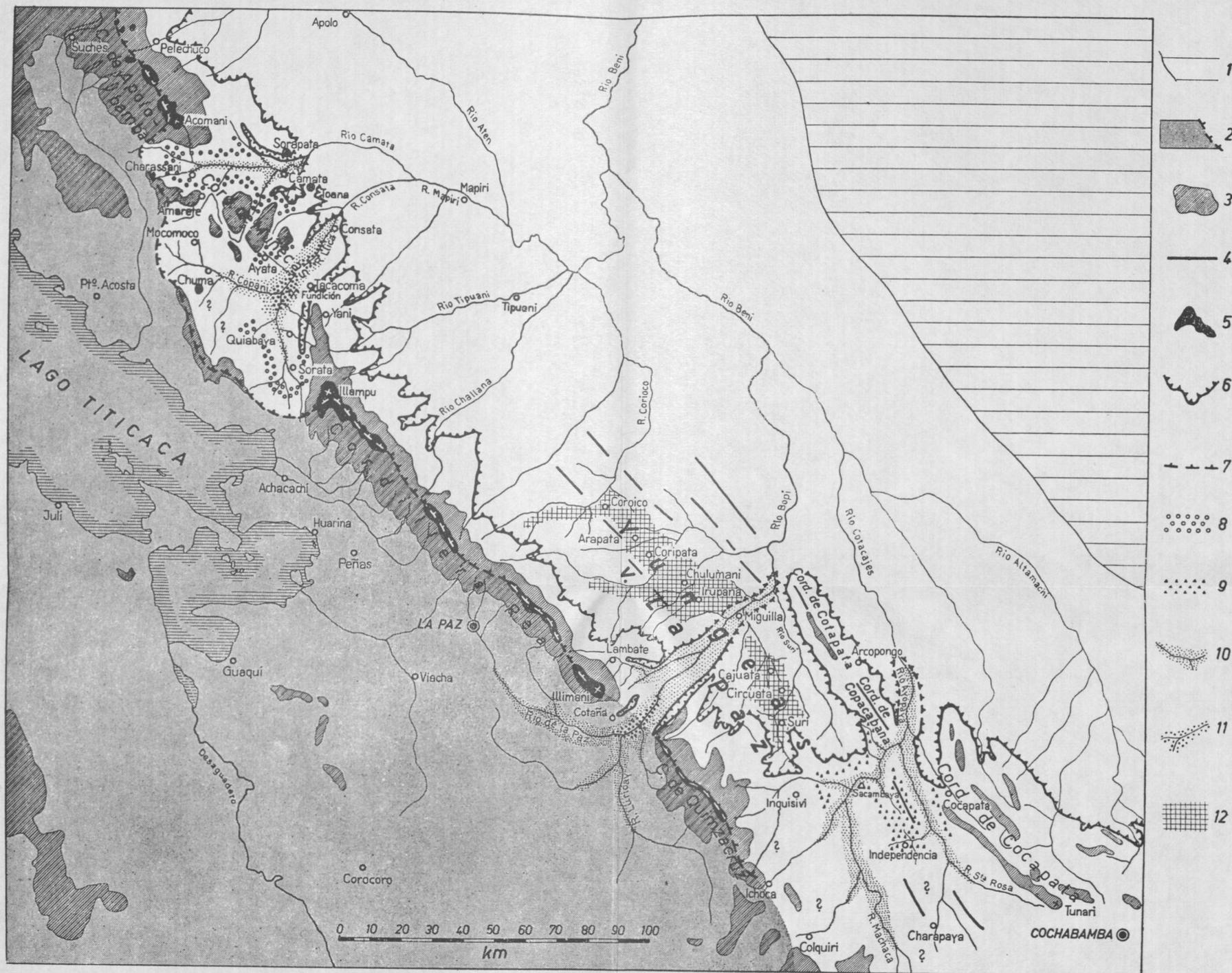
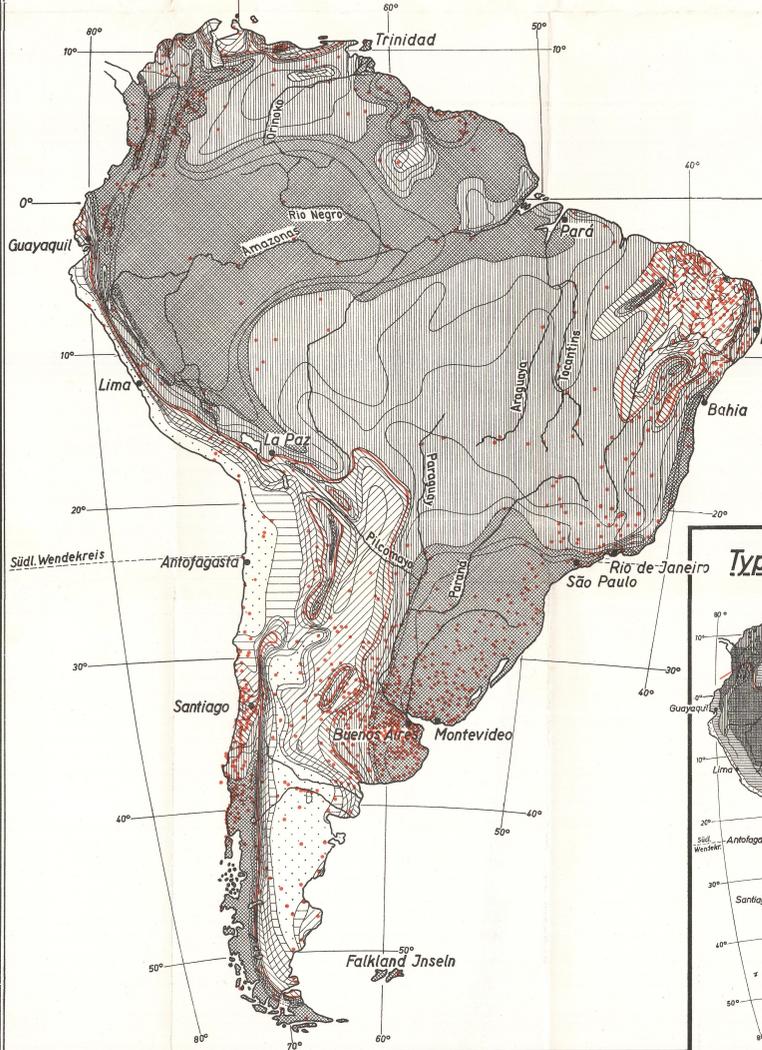
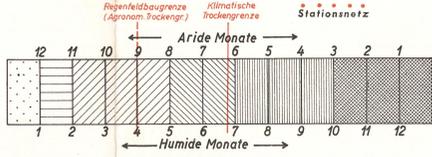


Abb. 2. Die klimatisch-landschaftliche Gliederung der nordostbolivischen Anden (Orig.).

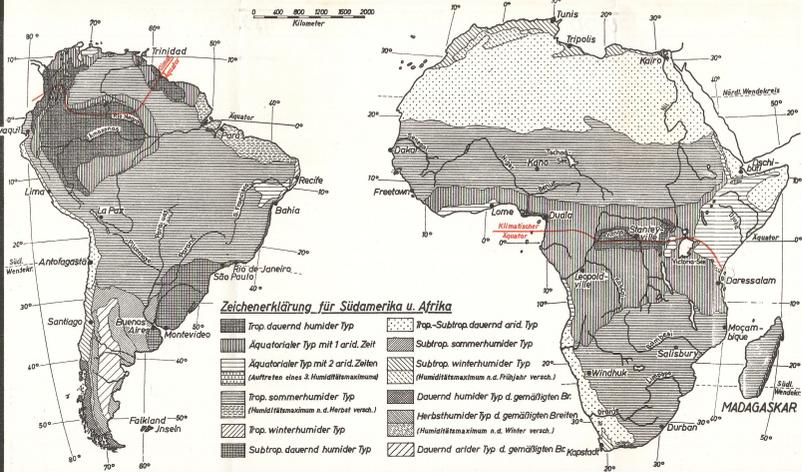
1. Beni-Tiefland. 2. Hochlandsbereich außerhalb der östlichen Steigungsniederschläge und Nebel. 3. Höhen über 4500 m. 4. Sonstige markante Gebirgskämme. 5. Vergletscherte Kordilleren. 6. Höhen- und Westgrenze der tropischen Höhen- und Nebelwälder (Ceja de la Montaña). 7. Westgrenze der östlichen Steigungsniederschläge und Nebelzonen (Verlauf über Gebirgskämme und Wasserscheiden). 8. Feuchter Nebelbusch in den Tallandschaften von Sorata und Muñecas. 9. Feuchte Höhenwälder von Podocarpus Parlatorei und Alnus jorullensis in den Tälern von Ayopaya. 10. Trockengebiete in den Durchbruchstäler. 11. Wüstenvegetation im Grunde dieser Durchbruchstäler. 12. Besiedelte und bebaute Zone der „Yungas“ (Coca-Anbau).

Die Zahl der humiden bzw. ariden Monate (Jsohygromenen) in Südamerika u. Afrika von W. Lauer

Zeichenerklärung für Südamerika u. Afrika



Typen der ombrothermischen Klimate in Südamerika u. Afrika



- Zeichenerklärung für Südamerika u. Afrika
- Trap. dauernd humider Typ
 - Aquatorialer Typ mit 1 arid. Zeit
 - Aquatorialer Typ mit 2 arid. Zeiten (März bis über 3 Monatsmitteln)
 - Subtrop. sommerhumider Typ (Humiditätsmaximum u. d. Herbst versch.)
 - Subtrop. winterhumider Typ (Humiditätsmaximum u. d. Winter versch.)
 - Subtrop. dauernd humider Typ
 - Trap.-Subtrop. dauernd arid. Typ
 - Subtrop. sommerhumider Typ
 - Subtrop. winterhumider Typ (Humiditätsmaximum u. d. Frühjahr versch.)
 - Dauernd humider Typ d. gemäßigten Br.
 - Herbsthumider Typ d. gemäßigten Breiten (Humiditätsmaximum u. d. Winter versch.)
 - Dauernd arider Typ d. gemäßigten Breiten

Zeichnung: Geographisches Institut der Universität Bonn.