

- HOLLE, R. L.: Some aspects of tropical oceanic cloud populations; in: *Journal Appl. Meteor.*, Bd. 7, 1968, S. 173–183.
- HUDLOW, M. A.: Radar echo climatology east of Barbados derived from data collected during BOMEX. Preprints 14th Radar Meteorology Conf., Tucson, Amer. Meteor. Soc., 1970, S. 433–437.
- JACOBSEN, R. W. Jr.: Diurnal variation of oceanic deep cumulus convection – Paper I. Observational evidence. Atmospheric Science Research Paper, No. 243, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 1976, S. 1–48.
- JONES, S. B.: The weather element in Hawaiian climate; in: *Annals Amer. Geogr.*, Bd. 29, 1939, S. 29–57.
- KRAUS, E. B.: The diurnal precipitation change over the sea; *Journ. Atmospheric Science*, Bd. 20, 1963, S. 546–551.
- LAVOIE, R. L.: Some aspects of the meteorology of the tropical Pacific viewed from an atoll. Hawaii Institute of Geophysics Report, No. 27, 1963, 76 S.
- LEOPOLD, L. B.: Diurnal weather patterns on Oahu and Lanai, Hawaii; in: *Pacific Science*, Bd. 2, 1948, S. 81–95.
– : The interaction of trade wind and sea breeze, Hawaii; in: *Journ. Meteor.*, Bd. 6, 1949, S. 312–320.
- LOVERIDGE, E. J.: Diurnal variations of precipitation at Honolulu; in: *Monthly Weather Rev.*, Bd. 52, 1924, S. 584–585.
- MALO, D.: Hawaiian Antiquities, Honolulu, Bishop Museum, 1951, S. 12–15.
- PESTAINA-HAYNES, M. und G. L. AUSTIN: Comparison between maritime tropical (GATE and Barbados) and continental midlatitude (Montreal) precipitation lines; in: *Journ. Appl. Meteor.*, Bd. 15, 1976, S. 1077–1082.
- PRICE, S. und J. C. PALES: Mauna Loa Observatory: The first five years; in: *Monthly Weather Rev.*, Bd. 91, 1963, S. 665–680.
- RAMAGE, C. S.: Diurnal variation of summer rainfall over Malaysia; in: *Journ. Trop. Geography*, Bd. 19, 1964, S. 62–68.
- RIEHL, H. L.: Diurnal variation of cloudiness over the subtropical Atlantic Ocean; in: *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, Bd. 28, 1947, S. 37–40.
- RUPRECHT, E. und W. M. GRAY: Analysis of satellite-observed cloud clusters; *Atmos. Science Res. Paper*, No. 219, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 1974, 91 S.
- WALLACE, J. M.: Diurnal variation of precipitation and thunderstorms frequency over the centerinous United States; *Mon. Wea. Rev.*, Bd. 103, 1975, S. 406–419.

ÖKOLOGISCHE KLIMATYPEN AM OSTABFALL DER MEXIKANISCHEN MESETA

– Erläuterungen zu einer Klimakarte 1:500 000 (Beilage III) –

Mit 3 Abbildungen und 1 Beilage (III)

WILHELM LAUER

Summary: Ecological-climatic types on the eastern slopes of the Mexican Meseta

The climatic map at the scale of 1:500 000 illustrates climatic types obtained from the altitudinal belts of temperature and the number of humid or arid months respectively. The methodical concept of this map is explained. The relationship between the climatic types and the vegetational division, as well as the ecological importance of the number of humid months or precipitation totals for individual types of vegetation respectively, are discussed. The special climatic phenomena are shown in an additional map at a scale of 1:1 500 000.

In dieser Zeitschrift wurde 1973 (*ERDKUNDE* 27/1973, Heft 3) über Ergebnisse zur physischen Geographie des Puebla-Tlaxcala-Gebietes berichtet, die im Rahmen des Mexiko-Schwerpunktes der Deutschen Forschungsgemeinschaft erarbeitet wurden. Einzelnen Beiträgen waren damals thematische Farbkarten beigegeben: 1. W. LAUER und H.-J. KLINK: Vegetationsgebiete am Ostabfall der zentralmexikanischen Meseta, 1:1 Mio. 2. H.-J. KLINK, W. LAUER und H. ERN: Ökologische

Vegetationstypen im Puebla-Tlaxcala-Gebiet 1:200 000. 3. W. LAUER und E. STIEHL: Hygrothermische Klimatypen im Raume Puebla-Tlaxcala 1:500 000.

Die hier zu erläuternde Karte mit dem Titel: Hygrothermische Klimatypen am Ostabfall der zentralmexikanischen Meseta 1:500 000 stellt einen weiteren Beitrag zur kartographischen Dokumentation von Ergebnissen des Mexiko-Projektes dar. Das Konzept schließt an Überlegungen an, die bereits der 1973 veröffentlichten Klimakarte für das engere Arbeitsgebiet – die Hochfläche von Puebla-Tlaxcala – zugrunde lagen. Da die Karte den Ostabfall der mittelmexikanischen Meseta bis zur karibischen See einschließt, mußten neue Kriterien für den Entwurf maßgebend werden.

An der Verifizierung des neuen Konzepts wirkte Herr. Dr. P. FRANKENBERG mit. An der technischen Bewältigung des Entwurfs und der kartographischen Gestaltung haben Herr Dr. H. J. RUCKERT und die Kartographen Herr E. BRÜSSHAVER und Frau CH. SCHNEIDEWIND großen Anteil. Mit ihrer Hilfe ist es gelungen, Inhalt, Form und Farbe der Karte möglichst

optimal abzustimmen. Der Deutschen Forschungsgemeinschaft danke ich auch an dieser Stelle für die Bereitstellung der Mittel.

Der Kartenentwurf

Die Karte verfolgt den Zweck, die wichtigsten Merkmale des Wärme- und Feuchtregimes – zu Klimatypen integriert – abzubilden, um damit den aus dem Klima resultierenden Anteil an der ökologischen Grundsubstanz des weiteren Arbeitsgebietes des Mexiko-Projektes näher zu kennzeichnen.

Der Maßstab 1:500 000 ist dem allgemeinen Kenntnisstand und der Verteilung des offiziellen klimatischen Meßnetzes in dem Ausschnitt, der durch die Karte erfaßt wird, angepaßt. Lediglich im engeren Arbeitsbereich des Mexiko-Projektes, auf dem Hochland von Puebla, konnten bisher Detailstudien im Sinne einer Landesklimaaufnahme durchgeführt werden, die in Einzelstudien z. T. veröffentlicht sind bzw. noch publiziert werden (vgl. Bibliographie des Mexiko-Projektes 1976).

Die Karte überdeckt neben dem klassischen Arbeitsgebiet der Hochfläche rund um die Vulkanruine der Malinche auch den nordost- und ostwärts gerichteten Abhang zur karibischen See, um ein reichgliedertes regionales Spektrum von klimatischen Umwelteigenschaften wiedergeben zu können.

Im vertikalen Aufriß umfaßt die Karte das Höhenintervall von der Meeresoberfläche bis zu den Gipfeln der höchsten Erhebungen über 5000 m und umschreibt damit alle Höhenstufen vom warmtropischen Tiefland zu den kalttropischen Gebirgsregionen. Sie bildet ebenso die volle Skala humider und arider Klimate in ihrer horizontalen und vertikalen Verbreitung ab.

Die hygrothermische Klimakarte wurde in der Absicht konzipiert, zum Verständnis des Verteilungsmusters des natürlichen Pflanzenkleides und der Kulturpflanzenareale beizutragen. Schließlich läßt die Karte die unterschiedliche klimatische Ausstattung des menschlichen Lebensraumes erkennen, da das Klima die natürliche Eignung eines Raumes für die Entwicklung zur Kulturlandschaft in besonderem Maße mitprägt. Dies gilt namentlich für den agrarischen Anteil der anthropogen gestalteten Landschaft.

Mit dem Entwurf der Karte war auch von vornherein ein methodischer Aspekt verknüpft insofern, als am konkreten, regionalen Beispiel die Diskussion zur Frage der Humidität und Aridität von Landschaftsräumen erneut aufgegriffen und diskutiert wird.

Eine ausführliche Erläuterung der Karte mit Diskussion besonders der letztgenannten Fragen befindet sich in einem eigenen Band des Colloquium Geographicum (Heft 13, Bonn 1978) im Druck. Mit diesem kurzen Beitrag ist lediglich beabsichtigt, die Karte kurz vorzustellen und die Problematik, die mit dem Entwurf verknüpft war, knapp zu umreißen.

Das Konzept der Karte

Die Karte integriert thermische und hygrische Klimaparameter zu einer räumlichen Differenzierung des Klimas. Als hygrothermische Karte umfaßt sie die für die Biosphäre wesentlichen großklimatischen Wirkungskomplexe des Wärme- und Wasserhaushaltes. Sie dient daher in erster Linie als klimaökologisches Gerüst der räumlichen Anordnungsprinzipien der Vegetation.

Der Karte liegt ein Konzept zugrunde, das Temperaturhöhenstufen in Form von Jahresisothermen und die Länge der humiden bzw. ariden Zeiten des Jahres, ausgedrückt durch Isohygromenen (Linien gleicher Anzahl humider Monate), kombiniert.

Die zur Gliederung verwandten Isothermen und Isohygromenen können der Karte auch einzeln entnommen werden. Sie begrenzen zugleich die Klimatypen. Die Isohyeten der Jahresniederschläge sind ebenfalls in die Karte eingetragen. Sie werden jedoch zur Typisierung der Klimate nicht herangezogen. Sie stellen eine Zusatzinformation dar, da der Niederschlag neben der Dauer der humiden Zeit von großer ökologischer Bedeutung ist. Die Mehrzahl der Klimatypen kann somit auch in eine direkte Beziehung zur auftretenden Niederschlagsmenge gebracht werden.

Da es sich um eine ökologisch bezogene Klimakarte handelt, wurden bei der Linienführung der Isarithmen die Grenzen verschiedener charakteristischer im Rahmen des Mexiko-Projektes untersuchter Vegetationseinheiten berücksichtigt und wichtige gemessene Klimaschwellenwerte darauf bezogen. Der Vegetationsgliederung kommt also bei der Auswahl der Begrenzungskriterien für das jeweilige Klimagebiet eine bestimmende Bedeutung zu. Das Relief spielt bei allen Klimateigenschaften der verschiedenen Räume gleichfalls eine Rolle. Es ist in Isohypsen von 200 zu 200 m in der Karte wiedergegeben.

Um die Interpretation zu erleichtern, wurde ein graphischer Schlüssel zum Lesen der Karte gewählt. Damit konnten komplizierte Indizes vermieden werden. Aus der Kombination der 11 vorkommenden Temperaturhöhenstufen (zu je 2° bzw. je 4 °C in größeren Höhen) und der 10 Humiditätsstufen ergeben sich theoretisch 110 verschiedene Klimate (vgl. Legende der Karte), von denen 83 im Untersuchungsraum der zentralmexikanischen Meseta und ihrem östlichen Abhang vorkommen, da in größeren Höhen sowohl extrem trockene wie auch extrem feuchte Klimate fehlen. Jeder Klimotyp ist durch eine Kombination einer römischen mit einer arabischen Ziffer eindeutig gekennzeichnet, wobei die römische Ziffer die Temperaturhöhenstufe, die arabische die Zahl der humiden Monate angibt. Die so gekennzeichneten Klimate entsprechen in ihrer regionalen Darstellung einzelnen Klimateilen. Sie können in der Karte mehrmals wiederkehren. In einem weiteren Schritt sind die einzelnen, durch Ziffern typisierten Klimate zu

Klimaregionen zusammengefaßt worden, die in Farbflächen ihren kartographischen Ausdruck finden.

Der vertikale Aufriß der Temperatur umfaßt 8 Höhenstufen, die durch Farben von rot (warm) nach blau (kalt) kenntlich gemacht wurden. Die hygri-schen Klimate sind zu 6 Stufen zusammengefaßt, in deren Farbgebung von gelb/braun zu grün sich der Klimawandel von trocken zu feucht ausdrückt. Die Stufen wurden nach ökologischen Gesichtspunkten im Hinblick auf die Charakterisierung der Pflanzendecke ausgewählt, so daß z. B. Temperatur- oder Humiditätsbereiche, die große Flächen einnehmen (z. B. die Temperaturstufen V und VII) oder die Humiditätsbereiche 5 und 6 auch als „Klimagebiete“ eine eigene Farbgebung erhalten haben und somit zuweilen den Klimaregionen identisch sind. Die übergeordneten Klimatypen (Klimaregionen), die durch Farben ausgedrückt sind, wurden mit Begriffen belegt, die dem spanischen Sprachgebrauch entliehen sind. Sie kennzeichnen den Klimatyp anschaulich (z. B. *cálido/subárido* oder *templado/húmedo* etc.).

Die Temperaturhöhenstufen sind in trockenen Becken des Hochlandes und am feuchten Abhang nicht gleichen topographischen Höhenstufen zuzuordnen. Der Heizeffekt des Binnenlandes bewirkt eine merkliche topographische Anhebung der thermischen Höhenstufen. Die Differenzen betragen in unteren, heißen Höhenstufen bis zu 900 m, nehmen nach oben hin aber stetig ab. Der Übergang der thermischen Höhenstufe *cálido* zur Stufe *subcálido* erfolgt am Abhang zur Karibik in ca. 400 m NN, in den trockenen Binnentälern aber erst bei 1300 m. Der Temperaturschwellenwert liegt für beide bei 23 °C. Erst bei 4000 m NN wird vollends ein Gleichstand der Temperaturhöhenstufen des Außenhangs und der Binnenregionen erreicht (s. Legende der Karte).

Eine markante thermische Klimagrenze wird z. B. durch die 19°-Isotherme repräsentiert. Sie entspricht im Binnenland einer Höhe von ca. 1800 m, am feuchten Abhang von 1300 m NN. Die unterhalb von ihr liegenden Temperaturstufen I bis IV, die Klimaregionen *cálido* und *subcálido*, setzen sich als Warmtropen scharf von den darüber liegenden kühleren und kalten Tropen ab. Im Bereich dieser Linie treten im Mittel hangwärts die ersten Fröste auf.

Eine weitere ökologische bedeutsame Temperaturgrenze stellt die Isotherme von 13° dar (Grenze *fresco/frío*), die an den Hochflächenrändern in ca. 2700 m, am feuchten Hang bereits bei ca. 2400 m verläuft. Ab der 9°-Isotherme (*frío/helado*) beginnt die *tierra helada* mit einer Frostwechselhäufigkeit von mindestens 150 Tagen. Die Baumgrenze liegt fast exakt an der 5°-Isotherme bei 4000–4100 m NN und bei 200 Frostwechseltagen. Die Schneegrenze verläuft an den großen Vulkanen bei 0–1 °C in ca. 4900 m NN. Zusammenhänge zwischen den Höhenstufen und den geökologischen Gegebenheiten werden in einem späteren Kapitel eigens abgehandelt.

Die hygri-sche Gliederung der Karte zeigt auffallende Gegensätze. Humide Räume (mit weniger als 7 humiden Monaten) liegen insbesondere östlich und nordöstlich der Randketten der Sierra Madre Oriental. Die Humidität wächst von der Küste in Richtung auf den Gebirgsfuß und erreicht in Höhen um 1000 bis 2000 m ihre höchsten Werte (bis zu 12 humiden Monaten) am Nordostabfall. Die Karte weist sie durch grünschimmernde Farbtöne aus. Es ist der Luvbereich des Passates und der winterlichen Kaltluft-einbrüche. Auf den trockenen Hochflächen sind die Bereiche mit 5 und 6 humiden Monaten farblich differenziert, um für das Hochlandklima die ökologisch relevanten Nuancen zur Geltung zu bringen. Auch für die Hochgebirgsklimate sind die Humiditätsstufen farblich stärker unterteilt.

Die Höhenklimate zwischen 2700 und 2300 m zeichnen sich durch eine länger als halbjährige Humiditätsperiode aus (7–10). Daran partizipieren auch die Hochgebirgsstufen des Binnenlandes, die als feuchte Inseln aus den trockenen Beckenlandschaften aufragen. Die blaue Farbgebung entspricht der Kombination der oberen Temperaturstufen mit der längeren Humiditätsdauer. Dazu gehören die Vulkangruppen der Meseta: Ixtaccíhuatl, Popocatépetl, Malinche und die Höhen der Sierra Madre Oriental sowie viele kleine feuchte Inseln, die aus den Hochebenen aufragen. Alle sonstigen Bereiche der Karte gehören zu den semiariden Gebieten jenseits der klimatischen Trockengrenze mit 7/6 bis 3 humiden Monaten.

Drei räumliche Einheiten des Klimas lassen sich in den trockenen Bereichen unterscheiden: die Meseta von Puebla-Tlaxcala in den Temperaturstufen V und VI, bei 6 bis 7 humiden Monaten, die Talungen im Südwest- und Südost-Teil der Karte in den Temperaturstufen II bis IV bei 4 bis 5 humiden Monaten und die langgestreckte Trockenachse, die im Lee der Sierra Madre Oriental sich von Nordwesten nach Südosten durch das Kartenblatt hindurchzieht, in den Höhenstufen V bis VII (1800 bis 2700 m) mit 3 bis 5 humiden Monaten.

Während die Meseta um Puebla-Tlaxcala an dem höheren Humiditätsgrad der sie eng umgebenden Vulkane partizipiert, sind die südlich anschließenden Senken, die in einer wärmeren Höhenstufe liegen, von den regenbürtigen winterlichen Kaltluft-einbrüchen völlig abgeschirmt und daher nicht nur im Sommer regenarm, sondern im Winter sogar völlig regenlos. Von den tief eingeschnittenen Tälern mit 4 humiden Monaten nimmt die Humidität hypsometrisch zu, so daß auch hier die aufragenden Gebirge ab 2000 m feuchtere Inseln bilden.

Die auffallende Trockenachse, die sich durch das Kartenblatt von Nordwesten nach Südosten hindurchzieht, hat die niedrigsten Humiditätswerte. Im Nordwest-Teil, bei Pachuca, und im sich immer tiefer einschneidenden Tehuacántal werden nur 3 humide Monate erreicht. Das langgestreckte Zwischenstück um

Apán und Oriental quert den östlichen Altiplano mit 4 humiden Monaten. Im äußersten Westen erlangt diese Hochsenke Anschluß an den Trockenraum des Beckens von Mexiko um den Texcoco-See. Die Trockenachse trennt die feuchten Bereiche entlang der Sierra Madre Oriental und die Talung von Puebla-Tlaxcala westlich der Malinche. An der humiden Ostabdachung springt noch das Trockengebiet von Rinconada und Soledad de Doblado ins Auge, ein trockenheißer Raum innerhalb der Temperaturstufe II mit 5 und 4 humiden Monaten. Er liegt im Schatten der winterlichen Nortes, so daß er nur wenig Winterniederschläge empfängt.

Die Ermittlung der Isohygromenen

Bei der Ermittlung der Humidität bzw. Aridität eines Klimas kann man nach A. PENCK (1910) von dem Verhältnis des Niederschlags zur potentiellen Verdunstung ausgehen. Der Quotient Niederschlag/Verdunstung = 1 umschreibt die kritische Grenze zur Bestimmung humider und arider Klimate oder humider und arider Zeiträume. Für das Untersuchungsgebiet stehen leider gemessene Verdunstungsdaten zur Errechnung der humiden bzw. ariden Monate nicht in ausreichendem Maße zur Verfügung. Nur für einzelne Stationen konnten nach der Wasserhaushaltsgleichung Diagramme entworfen werden (LAUER/FRANKENBERG, 1978). Dabei mußten die mit Hilfe von Class-A-pan gemessenen Werte mit dem Faktor 0,5 reduziert werden, um den Oaseneffekt auszuschalten, der sich in den kritischen Übergangsmontaten in dieser Größenordnung auswirkt. Dies ergaben vergleichende Berechnungen mit dem physikalisch abgesicherten PENMAN-Index an einigen spezifischen Stationen in Trocken- und Feuchtgebieten (JAUREGUI et al., 1977; LAUER u. FRANKENBERG, 1978).

Da auch die Parameter für die Verdunstungsberechnung nach PENMAN nur an wenigen Stationen zur Verfügung stehen, ist die potentielle Verdunstung (pV) mit Hilfe der Methode von PAPADAKIS (1966) in Anlehnung an Überlegungen von W. SCHMIEDECKEN berechnet worden. Statt des Niederschlags wurde die aktuelle Verdunstung (aV) benutzt, um nicht nur das Niederschlagswasser, sondern das gesamte pflanzenverfügbare Wasser im Boden in die Bilanzierung einzubringen¹⁾.

Erreicht der Quotient aV/pV den Wert 1, so ist ein Monat humid. Ein Monat wird um so arider, je kleiner der Quotient von aV zu pV wird. Dabei wurde aber bei der Ermittlung der humiden und ariden Monate

nach dem Quotienten aV/pV ein gleitender Reduktionsfaktor eingeführt, für dessen Begründung folgende Überlegungen zugrunde liegen.

1. Mit abnehmender Pflanzendichte nimmt an einem Standort die potentielle Verdunstung pV ab, da sich im Mittel die Albedo erhöht und sich die in die Verdunstung eingehenden mittleren Oberflächentemperaturen vermindern. Diese Tatsache ist in der verbesserten PENMAN-Formel (1963) weitgehend berücksichtigt, nicht aber bei PAPADAKIS.

2. Mit abnehmender Niederschlagsmenge nimmt im allgemeinen auch die unbewachsene Fläche eines Landschaftsausschnittes zu und umgekehrt die Vegetationsdichte ab. Da die Pflanzendecke im Durchschnitt mehr verdunstet als eine entsprechende Fläche unbewachsenen Bodens, müssen mit abnehmender Vegetationsdichte die berechneten Verdunstungswerte nach unten korrigiert werden. Die abnehmende Vegetationsdichte steht in einer kausalen Beziehung zur abnehmenden Niederschlagshöhe eines Raumes.

3. Der Oaseneffekt, der in die Formel von PAPADAKIS im Gegensatz zur Berechnung nach PENMAN (1963) nicht eingeht, wurde ebenfalls mit Hilfe von Berechnungen an Vergleichsstationen im Arbeitsgebiet berücksichtigt.

Der aus diesen Überlegungen resultierenden Überschätzung der potentiellen Verdunstung (pV) steht eine Unterschätzung von aV, d. h. des verfügbaren Wassers bei zunehmender Trockenheit, gegenüber:

1. Mit abnehmendem Niederschlagsaufkommen erhält jede Pflanze wegen ihrer zunehmenden Vereinzelung mehr Wasser als die Regenmesser anzeigen, da Wasser in Tiefenlinien des Reliefs zugunsten der dort wachsenden Pflanzen zusammenströmt. Dieser Konfluenzeffekt wirkt sich im Untersuchungsgebiet besonders aus, da fast alle Trockengebiete in Senken, Ebenen und Becken liegen, in denen nachweislich Wasser von den umgebenden Hängen zusammenfließt.

2. In Trockengebieten regulieren Pflanzen ihre Transpiration, indem sie aufgrund ihres morphologischen Baus und ihrer physiologischen Konstitution mit dem Wasser besser haushalten können. Im übrigen verschiebt sich der spezifische permanente Welkepunkt von Trockenpflanzen gegen immer höhere Bar-Werte.

Während die bisherigen Punkte eine Reduzierung des Trockengrenzwertens verursachen, deuten einige Faktoren in eine umgekehrte Richtung:

a) Der Nachleitungswiderstand im Boden wird mit zunehmender Austrocknung erhöht. Dies kompensieren die Pflanzen durch die Verschiebung ihres spezifischen permanenten Welkepunktes.

b) Die Infiltrationskapazität des Bodens sinkt mit abnehmender Durchwurzelung der Verdunstungsfläche (PENMAN, 1963), wodurch die Abflußrate deutlich ansteigt.

¹⁾ Die Frage der Humidität und Aridität ist im Hinblick auf die hier vorgelegte Karte ausführlicher diskutiert in: W. LAUER und P. FRANKENBERG: Colloquium Geographicum, Heft 13, 1978. Ich verweise auch auf die Beiträge von W. SCHMIEDECKEN und von E. JAUREGUI, D. KLAUS und W. LAUER im gleichen Heft.

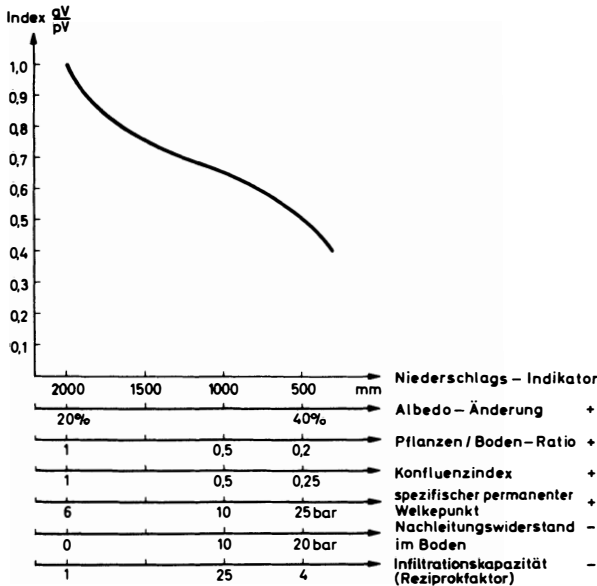


Abb. 1: Der gleitende Reduktionsfaktor des Trockengrenzwertes (nach LAUER/FRANKENBERG 1978)
The sliding reduction factor of the arid boundary threshold value

quantitativen Bewertung unterschiedlicher ökophysiologischer Reaktionstypen der Pflanzen fehlt. So können die Anteile des Reduktionsfaktors nur qualitativ abgeschätzt werden, im Sinne von Abb. 1.

Die Berechnung der humiden bzw. ariden Monate (Isohygromenen) in dieser Karte geht daher zunächst von einer quantitativ abgesicherten klimaökologischen Wasserhaushaltsbilanzierung $aV/pV = 1$ aus. Je nach dem Niederschlagsaufkommen an den jeweiligen Klimastationen, d. h. je nach der Trockenheit des Standortes wurde aber nach einem gleitenden Trockengrenzwert (Reduktionsfaktor) die Zahl der humiden bzw. ariden Monate ermittelt (Abb. 1).

Während man den unreduzierten Quotienten $aV/pV = 1$ nach der klimatischen Wasserbilanz als „klimaökologische Trockengrenze“ bezeichnen kann, schlagen wir für den gleitenden Quotienten $aV/pV = 1$ bis 0,45 die Bezeichnung „pflanzenökologische Trockengrenze“ vor (LAUER/FRANKENBERG, 1978). Sie ist zwar nur qualitativ abschätzbar, doch umschreibt sie die Wirklichkeit der Natur für das Untersuchungsgebiet besser (Abb. 2).

Hygrothermische Klimate und Vegetation

Der korrelative Zusammenhang zwischen den hygrothermischen Klimaten und dem Vegetationsbild des Raumes ist sehr eng. Wenn auch Relief, Boden, Bodenwasserhaushalt und Mikroklima die Standortfaktoren der Vegetation im kleinen bestimmen und die physiologischen Prozesse die Lebens- und Wuchsformen steuern, so stecken doch die Temperaturen sowie die Humidität bzw. Aridität und die Niederschlagsmengen den Rahmen der Vegetationseinheiten ab.

In einem Schema (Abb. 3) sind die Vegetationseinheiten des Untersuchungsraumes mit den thermischen Höhenstufen und den hygrischen Klimatypen in Beziehung gesetzt worden. Jede Vegetationseinheit ist zum unmittelbaren Vergleich sowohl im Text als auch im Schema mit einer Ziffer versehen. Die Pfeillänge erlaubt, sowohl den Höhenstufenbereich als auch den Humiditätsbereich der jeweiligen Vegetationseinheit abzulesen²⁾.

Im vertikalen Aufriß ist die Vegetation im wesentlichen nach den Temperaturstufen gegliedert. Jede dieser Stufen wird durch die hygrischen Eigenschaften des Klimas abgewandelt.

Eine der wichtigsten Klimagrenzen wird durch die 19°-Isotherme repräsentiert. Als mittlere Frost- und Wärmemangelgrenze trennt sie z. B. vorwiegend neotropische von holarktisch geprägten Vegetationseinheiten und markiert im Bereich des Südabfalls zur trockeneren Balsassenke u. a. das Aussetzen der tropischen

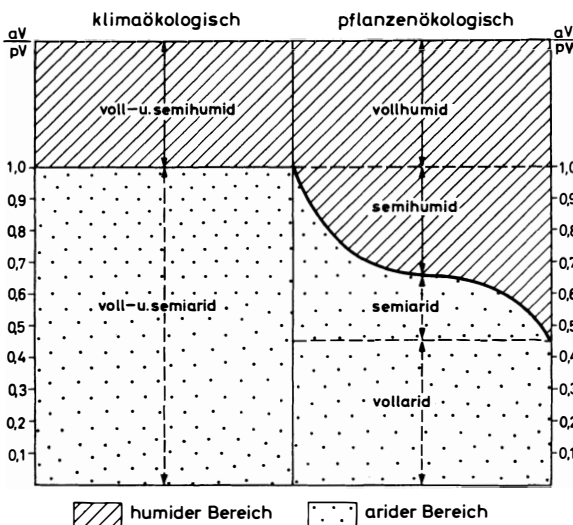


Abb. 2: Das Verhältnis von klimaökologischer und pflanzenökologischer Definition der Begriffe humid und arid
The relation between climato-ecological and plant-ecological definition of the terms humid and arid

Zusammen genommen führen alle angeführten positiven und negativen Faktoren dazu, mit abnehmender Niederschlagssumme (als Phytomassenindikator) den klimaökologischen Trockengrenzwert aV/pV gleitend zu reduzieren. Allerdings ist eine quantitative Feststellung der Reduktionsfaktoren für die einzelnen Vegetationsgebiete bisher nicht möglich, da es an der

²⁾ Es ist im Rahmen dieses Aufsatzes nicht möglich, noch einmal die Vegetationskarte 1:1 Mio. beizulegen. Ich verweise für den Vergleich auf die Beilage in „Erdkunde“ 1973.

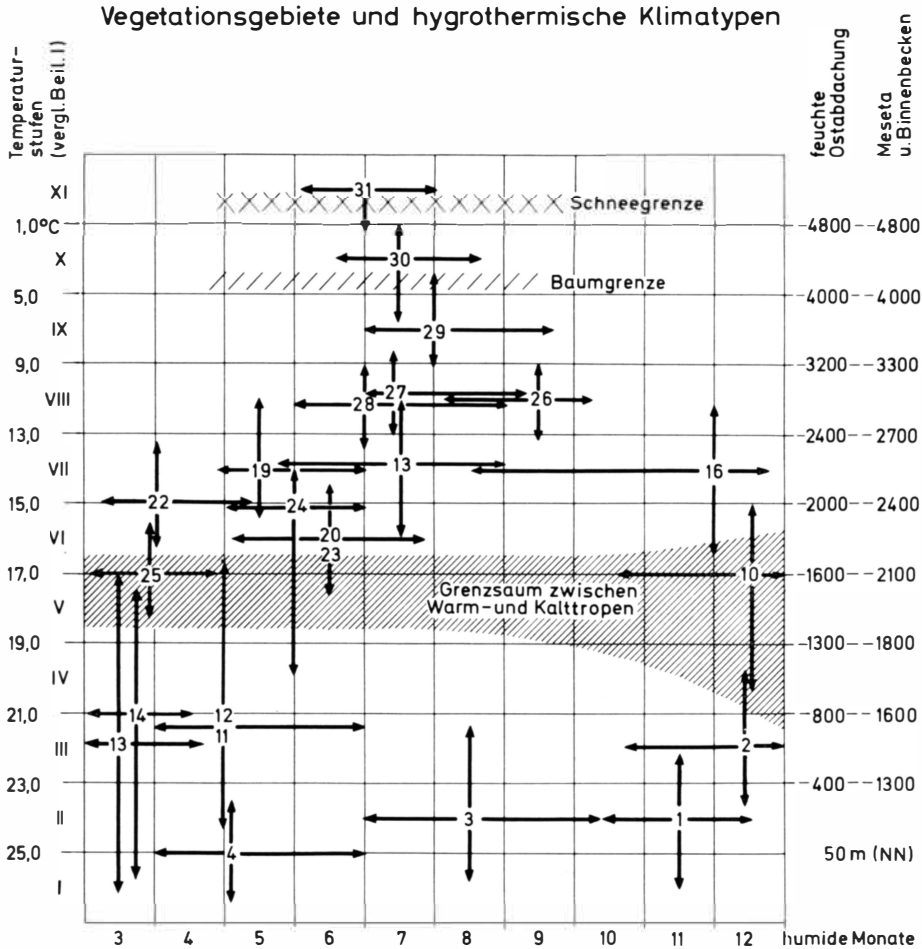


Abb. 3: Vegetationsgebiete und hygrothermische Klimatypen (nach LAUER/FRANKENBERG 1978)

Die Vegetationseinheiten sind mit Ziffern versehen. Die Pfeile umschreiben den Klimabereich der Vegetationseinheiten.

1. Tropischer Regenwald, halbimmergrün; 2. Tropischer Regenwald, lauraceenreich; 3. Regengrüner Feuchtwald bzw. regengrüne Savanne; 4. Regengrüner Trockenwald und Dornsavanne; 10. Tropischer Bergwald, feucht-mesophytisch; 11. Tropischer Berg-Fallaubwald, semiarid; 12. Berg-Dornsavanne (montaner Matorral); 13. Dorn-Sukkulentsavanne, vorwiegend Kakteen; 14. Mezquital; 16. Eichen-Kiefern-Nebel-Bergwald; 18. Kiefern-Eichen-Mischwald, semihumid; 19. Kiefern-Eichen-Mischwald, semiarid; 20. Eichen-Mischwald, laubwerfend; 22. *Juniperus deppeana*; 23. *Juniperus flaccida*; 24. Monokotyle Schopfblattvegetation; 25. Baumfreie Halophytenvegetation; 26. Nadel-Nebel-Höhenwald; 27. Kiefern-Tannenwald, subhumid; 28. Kiefern-Mischwald, semihumid; 29. Hochgebirgs-Kiefernwald aus *Pinus hartwegii*; 30. Hochgebirgs-Grasland (zacatonales); 31. Vegetation der Periglazialstufe.

Vegetation areas and hygrothermic climatic types.

The vegetation units are numbered. The arrows circumscribe the climatic realm of the vegetation units.

1. tropical rain forest; semi-evergreen. 2. tropical rain forest, abounding in *Lauraceae*; 3. rain-green humid forest or rain-green savanna; 4. rain-green dry forest and thorn savanna; 10. tropical montane deciduous forest, humid-mesophytic; 11. tropical montane deciduous forest, semi-arid; 12. montane thorn savanna (montane matorral); 13. thorn-succulent savanna, predominantly cacti; 14. Mezqui valley; 15. Oak-pine-cloud-montane forest; 18. pine-oak mixed forest, semi-humid; 19. pine-oak mixed forest, semi-arid; 20. mixed oak forest, deciduous; 22. *Juniperus deppeana*; 23. *Juniperus flaccida*; 24. monocotyle rosette leaf vegetation; 25. Treeless halophytic vegetation; 26. Coniferous altitudinal cloud forest; 27. pine-fir forest, sub-humid; 28. mixed pine forest, semi-humid; 29. high mountain pine forest consisting of *Pinus hartwegii*; 30. high mountain grassland (zacatonales); 31. vegetation of the peri-glacial stage.

Gattung *Bursera* und vieler hochwüchsiger Kakteen nach oben und den Beginn holarktischer Gattungen wie *Quercus*, *Pinus* und *Juniperus*. H.-J. KLINK und W. LAUER (1978) nehmen als Limitierung der holarktischen

Baumvegetation nach unten hin eher eine Trockengrenze an, da die Eichen sich nur in feuchteren, schattigen Schluchten nach unten und die warmtropische Gehölzvegetation sich auf den trockenen Berg-

rücken nach oben ausbreiten. Die Eichenuntergrenze korrespondiert etwa mit der 600 mm Isohyete und einer Humiditätsdauer von vier Monaten.

Weniger scharf ist der Übergang von neotropischen zu holarktischen Florenelementen am feuchten Ostabfall der Sierra Madre Oriental ausgeprägt. Der Verzahnungsbereich zwischen den neotropischen Spezies des tropischen Bergwaldes (10) und den holarktischen Arten des Eichen-Kiefern Nebel-Höhenwaldes (16, 26) erstreckt sich über ein weit ausgedehntes Höhenintervall. Die Eichen steigen einerseits bis in die *tierra caliente* ab, das Genus *Pinus* reicht bis 1000 m, *Pinus strobus* sogar bis 500 m abwärts. Warmtropische Spezies haben auch hier an der Frostlinie bzw. einem artypischen Wärmemangel bei ca. 1300 m eine relativ scharfe Begrenzung. Die Gattung *Cecropia* und manche Palmenart sind gute Beispiele dafür. *Cecropia* setzt z. B. in ca. 1300 m recht abrupt aus. Oberhalb dieser Grenze massieren sich im Intervall von 19–13 (11) °C boreale Arten der Gattungen *Quercus*, *Carpinus*, *Ostrya*, *Tilia*, *Juglans* und *Fagus*. Hier wächst vor allem auch die Leitart *Liquidambar styraciflua*. Relativ frostempfindliche, tropisch-montane Arten im Niederwuchs mischen sich ein: *Podocarpus*, *Weinmannia*, *Lippia* und *Drimys Winteri* (bis ca. 11°). Die borealen Arten des feuchten Bergwaldes haben zwischen 1300 und 2000 m im Klima *templado* bei 19–15 °C ihr Optimum. Ihre Untergrenze kann etwa mit dem tiefsten Frostvorkommen definiert werden.

An der 13°-Isotherme, die an den trockenen Hochflächenrändern in ca. 2700 m, am feuchten Abhang bereits bei 2400 m, verläuft, tritt ebenfalls ein charakteristischer Vegetationswechsel auf. Am feuchten Ostabfall setzen sich in dieser Höhe die feuchten Kiefern-Eichenwälder vom Nebelwaldcharakter (16, 20) und verdrängen das tropisch-montane Baumflorenelement so gut wie vollständig.

Schließlich tritt im Verlauf der Isotherme von 9° erneut eine Vegetationsänderung ein. An dieser Höhengrenze, die bei 3200 bzw. 3300 m NN liegt (Grenze *frío/helado*), bleibt nur noch *Pinus hartwegii* (29) als einzige baumförmige Vegetation in den Gebirgen übrig. Sie beherrscht die Höhenstufe zwischen 9 und 5 °C zusammen mit Büschelgrasunterwuchs. Die Baumgrenze liegt fast exakt an der 5°-Isotherme bei 4000 bis 4100 m NN. Nach W. LAUER und D. KLAUS (1975) sind niedere Temperaturen des Frühjahrs Hauptfaktor einer Begrenzung des Baumwuchses. Sie schränken die Möglichkeit der Diffusion des Wassers durch die Zellmembranen wesentlich ein. Die Baumgrenze kann im ganzen als eine „Kältetrockengrenze“ bezeichnet werden. Oberhalb folgen in der Stufe des Klimas *subnevado* Grasfluren (30) bis zu einer Höhe von 4800 m bei einer Temperaturgrenze nahe dem Gefrierpunkt. In den oberen Teilen des Klimas *subnevado* wird eine geschlossene Vegetationsdecke durch periglaziale Bodenabtragung verhindert. Der Frostwechsel beträgt über 320 Tage im Jahr. Die mittlere klimatische

Schneegrenze liegt am Popocatépetl und am Ixtacchuatl im Mittel bei ca. 4950 m bei einer Temperatur zwischen 0 und 1 °C.

Die hygri-sche Differenzierung des Pflanzenkleides ist reichhaltig (Abb. 3). Im Bereich von 11–12 humiden Monaten liegen in der heißen Tieflandstufe der *tierra caliente* in den Temperaturstufen I–III üppige tropische Regenwaldareale (1, 2) am Fuße der Sierra Madre Oriental. Dadurch, daß nur wenige Gebiete vollhumid sind, sind die meisten Wälder nicht immergrün und werden als *selva subperennifolia* bezeichnet. Bei 9–12 humiden Monaten liegen in den Temperaturstufen IV, V und VI die feuchten artenreichen Bergwälder (10) mit den borealen Leitarten *Quercus* und *Liquidamba*, durchsetzt mit immergrünen tropisch-montanen Arten wie *Weinmannia* und *Podocarpus*. In den höheren Temperaturstufen (VI bis VIII) gedeihen Eichen-Kiefern-Nebelwälder (16) mit der Leitart *Pinus patula*. Schließlich zeugt der reiche Epiphytenbewuchs und das Auftreten von Baumfarnen in den Bergwäldern zwischen 1300 und 2700 m vom humiden Nebelwaldklima des Abhangs.

Im Binnenland, an den Vulkanen, sind Kiefern-Tannenwälder (27) insbesondere in den Klimaregionen von 7–10 humiden Monaten verbreitet. Ihre trockene Variante, der Kiefern-Mischwald (28) und der feuchte Eichen-Kiefernwald (18), konzentriert sich dagegen auf die strahlungsreichen Abhänge der gleichen Temperaturhöhenstufen (*frío*) bei vorwiegend 7 und 6 humiden Monaten im Klima *subhúmedo*.

In den Niederungen des Küstenhinterlandes zwischen Veracruz und Córdoba ist das physiognomische Bild bestimmt von Pflanzenformationen, die je nach der Länge der Regenzeit sich als regengrüner Feuchtwald (3), regengrüner Trockenwald (4) und regengrüner Dorn- und Sukkulantenbusch (4) bezeichnen lassen, von MIRANDA als *selva baja caducifolia* bezeichnet. Die Landschaft ist stark degradiert oder in Nutzung genommen. Sie bietet den physiognomischen Aspekt von Feuchtsavannen bei 7–8, Trockensavannen bei 5–6 und Dornsavannen (auch 13, 14) bei 4 und weniger humiden Monaten. Die Vegetation ist meso- bis xerophytisch und wird in den trockenen Teilen durch die Gattungen *Acacia*, *Cercidium*, *Prosopis* und *Pithecolobium*, in extrem trockenen Teilen und schlecht drainierten Böden von *Curatella* und *Crecentia* dominiert.

Die warmtropischen Berg-Fallaubwälder (11) mit *Bursera* als Leitgattung bestimmen die heißen Talungen und Binnensenken der Höhenstufe *cálido* und *subcálido*, wenn die Dauer der humiden Zeit wenigstens 5 Monate beträgt. Bei geringerer Dauer der feuchten Zeit (4 und 3 humide Monate) ist dieser Fallaubwald von hochwüchsigen Kakteen (13) und regen-grünen Dornbüschen (12) durchsetzt. Die höheren thermischen Stufen (*templado*) bei Mitteltemperaturen von 19–15 °C sind in den Trockenräumen von 4 und 5 humiden Monaten mit xerophytischem Matorral (12, 24) aus monocotylen Schopfbäumen und sukku-

lenten Rossettenpflanzen (15) bestanden, von denen kälteempfindliche (15) und kälteresistente (24) Varianten unterschieden werden können (KLINK/LAUER, 1978). Oberhalb der Warmtropengrenze dominiert auf der trockenen Meseta bei 4 und 5 humiden Monaten ein trockener Eichen-Mischwald (20) mit Dorngehölzen. Im Klima *fresco* tritt dann als neues Element in dieser Humiditätszone *Juniperus deppeana* (22), auf, der als Leitpflanze der trockenen Fußstufe des vulkanischen Hochlandes gelten kann und die Hochbecken im Bereich der Trockenachse zwischen Pachuca und dem Pico de Orizaba bei ca. 5, 4 und 3 humiden Monaten randlich umkleidet.

Erst in den feuchteren Stufen dieser Höhenklimate bei 5 und 6 humiden Monaten geht diese Pflanzenformation in Eichen-Kiefern-Wälder (19) einer mesophytischen Variante über, in der aber ebenfalls *Juniperus deppeana* vertreten ist.

Die *Pinus hartwegii*-Wälder (29) in der Temperaturstufe *helado* sind im Humiditätsbereich von 6 und 7 humiden Monaten angesiedelt. Ebenso haben die Hochgebirgsgrasfluren (*zacatonales*) (30) im Klima *helado* und *subnevado* ihre Hauptverbreitung im Bereich von 5–7 humiden Monaten. Die Humidität geht oberhalb der *Pinus hartwegii*-Stufe rasch zurück. Die Niederschlagsmengen nehmen drastisch ab.

Das Verhältnis der Zahl der humiden Monate zu den Jahresniederschlagsmengen und seine Bedeutung für die Vegetationstypen

Für die Charakterisierung der Vegetationstypen durch die hygrische Komponente des Klimas ist vielfach die Dauer der humiden Zeit nicht allein entscheidend. Deshalb wurden in die Klimakarte auch die Isohyeten eingetragen, um das Verhältnis beider zueinander auf der Karte abschätzen zu können.

Untersuchungen in den Tropenräumen haben ergeben, daß die Niederschlagsmenge und die Dauer der Regenperiode in engem korrelativen Zusammenhang stehen, d. h. daß die Abnahme der Niederschlagsmenge im Regelfall mit einer Verkürzung der Regenzeit verbunden ist. Hiervon gibt es aber viele Abweichungen, die hinsichtlich der klimaökologischen Wirkungen auf das Pflanzenkleid von Bedeutung sind. In sehr feuchten Gebieten ist die Regenmenge für das Verhalten der Pflanzenwelt ökologisch meist wichtiger (WALTER, 1974), in Trockenräumen dagegen die Dauer der Regenzeit (humide Zeit) wirkungsvoller. Da der Raum der Meseta vorwiegend semihumiden und semiariden, sogar ariden Charakter trägt, wurde für die Ermittlung der Klimatypen den Isohygromenen deshalb der Vorzug gegeben. Beide Parameter, Isohygromenen und Isohyeten wurden jedoch auf ihre ökologische Bedeutung hin statistisch analysiert (vgl. LAUER/FRANKENBERG, Colloquium Geographicum 13, 1978).

So ergab sich z. B., daß der Tieflandregenwald (1, 2)

seine Existenz mehr auf die Dauer der humiden Zeit gründet bei gleichmäßig verteilter Niederschlagsmenge über das Jahr. Die verhältnismäßig geringe Niederschlagsmenge mag der Grund für den nicht vollständig immergrünen Charakter der Wälder sein.

Die Nebel-Höhenwälder (26) haben ebenfalls ein geringeres Niederschlagsaufkommen als nach der Zahl der humiden Monate zu erwarten wäre. Die Niederschläge fallen besonders während der winterlichen Nor-teperiode als stärkerer oder schwächerer Nieselregen, der manchmal apparativ kaum registriert werden kann. Anders ist es bei den wolkenreichen Bergwäldern (10, 3, T. 16) am feuchten Nordostabhang. Sie liegen in einer Stufe maximaler Niederschlagsmengen im Bereich der 1000 m Isohypse und verdanken ihre physiognomisch-ökologische Ausprägung vorwiegend den hohen Niederschlagsmengen und der reichlichen Wolkenhäufigkeit. Diese Bergwälder sind von bunter Üppigkeit und hohem Wuchs. Sie sind reich an Baumfarnen, epiphytischen Farnen, Bromelien und Orchideen. Die großen Regenmengen kompensieren die fehlende klimatische Humidität in der im Frühjahr wechselnd langen Trockenzeit, die im Mittel 2–3 Monate andauern kann.

Im Bereich der Meseta fallen die Niederschläge häufig zeitlich sehr konzentriert, so daß auch eine größere Niederschlagsmenge die Humiditätsdauer kaum zu verlängern vermag. Es überwiegen konvektiv-tropische Niederschläge, die in der Sommerregenzeit fallen. Die Fallaubwälder (11) und der Kakteenreichtum (13) in den Warmtropenbereichen des Tehuacantals und der Balsasenke sind Ausdruck hoher Niederschläge und relativ kurzer humider Zeiten (4–3 humide Monate).

Überaus charakteristisch verhält sich auch das Trockengebiet im Hinterland der karibischen Küste um Rinconada mit seinen Trocken- und Dornsavannen (4). Es empfängt während der feuchten Zeit durch Starkregen verhältnismäßig viel Niederschlag, wohingegen die winterlichen Nortes, die einen Ausgleich zugunsten von weiteren humiden Monaten hervorrufen könnten, durch die Leewirkung der Sierra de Chiconquiaco kaum Regeneffekte aufweisen.

Das zentrale Becken von Puebla-Tlaxcala, das von den hohen Vulkanen der Sierra Nevada und der Malinche umgeben ist, zeigt ein neutrales Verhalten zwischen Niederschlagssummen und Dauer der humiden Zeit. Einerseits erhält dieses Becken während der sommerlichen Regenzeit durchaus verhältnismäßig hohe Niederschläge, ist aber andererseits gegen den Winter hin unter dem Einfluß der Nortes keineswegs ganz ohne sie.

Als Ergebnis kann man festhalten, daß in allen relativ humiden Gebieten mit Ausnahme der Stufe maximaler Niederschlagsmengen zwischen 600 und 1400 m NN das Niederschlagsaufkommen geringer ist als nach der Zahl der humiden Monate zu erwarten wäre. Der Umsatz des Niederschlagsaufkommens in die Zahl der humiden Monate ist also sehr „ökonomisch“.

Umgekehrt empfangen trockene Gebiete in der Regel verhältnismäßig höhere Niederschlagssummen in der kurzen Regenzeit als es der Zahl der humiden Monate entspricht. Das Niederschlagsaufkommen wird dort offensichtlich „unökonomisch“ in die Zahl der humiden Monate umgesetzt.

Die Vegetation ist also in charakteristischer Weise vom Verhältnis der humiden Monate zu den Niederschlagsmengen geprägt. Die deutlichsten Beispiele für die unterschiedliche ökologische Wirkung dürften die *Nebelwälder* einerseits und die *trockenen Fallaubwälder* der zentralen Senken mit einem sehr differenzierten floristischen Spektrum andererseits sein. Während für die *Nebelwälder* an den Abhängen die hohe Kompensationsfähigkeit der *Nebelregen* zugunsten einer Verlängerung der humiden Zeit mit negativen Abweichungen der Niederschlagsmenge von der Zahl der humiden Monate verständlich und dieser Tatbestand durch viele Arbeiten über die ökologischen Adaptionsformen der *Nebelwälder* auch belegt ist, sind die ökologischen Wirkungen, die relativ zur Zahl der humiden Monate größeren Niederschlagsmengen auf die xeromorphe Vegetation ausübt, weniger gut bekannt. Gehölze und Kakteen sind an ein Überdauern langer Trockenzeiten angepaßt. Beide weisen stark reduzierte Oberflächen auf, die Gehölze assimilieren auch mit der Rinde. Trotz ihres hohen Wasserspeichervermögens können Kakteen jedoch keine extrem langen Trockenperioden überdauern, da sie vor allem zum Aufbau ihres sukkulenten Körpers bei langsamem Wachstum relativ regelmäßig Niederschläge benötigen. Nach ELLENBERG (1959) und WALTER (1974) sind Kakteenformationen in Trockengebieten den Gehölzformationen daher dort überlegen, wo das Niederschlagsaufkommen von Jahr zu Jahr verhältnismäßig gleich hoch ist. Bei edaphischen Verhältnissen mit flachgründigen Böden und unterliegenden Krusten finden Kakteen mit ihren flachen Wurzelsystemen für die Aufnahme des Wassers günstigere Bedingungen, da ein Versickern in tiefere Bodenschichten verhindert wird. Holzpflanzen, die perennierende Wasserhorizonte in größeren Tiefen erreichen müssen, können dort nur sehr schwer gedeihen. Kakteen sind im Untersuchungsgebiet dort favorisiert, wo außer in der sommerlichen Regenzeit auch im Winter noch Regenanteile genutzt werden können, d. h. im unmittelbaren Lee der Ketten der Sierra Madre Oriental, wie z. B. im Nordwesten des Untersuchungsgebietes bei Pachuca und an der östlichen Abdachung des unteren Tehuacan-Tals (s. Karte in LAUER, 1973). An der Abdachung zur Balsassenke, wo die hygrischen und edaphischen Verhältnisse den Gehölzformationen entgegenkommen, gedeihen Kakteen entweder auf strahlungsexponierten Kalkstandorten oder nur am Rand des tropischen Bergfallaubwaldes, wo sie günstigste Strahlungsbedingungen vorfinden, da Kakteen für ihre schnelle Wasseraufnahme auch hohe mittlere Wärmebedingungen benötigen bei möglichst wenig Schatten.

Die Interpretation des Verhältnisses von Isohygromenen und Isohyeten vermag hier unter Berücksichtigung auch der edaphischen und topographischen Verhältnisse deutliche ökologische Interpretationshilfen zu geben.

Sonderphänomene des Klimas (Bemerkungen zur Nebenkarte 1:1,5 Mio.)

Der Hauptkarte der hygrothermischen Klimate 1:500000 wurde eine Nebenkarte im Maßstab 1:1,5 Mio. beigegeben, die einige regionalklimatische Sonderphänomene abbildet. Eine der auffälligsten klimatischen Erscheinungen im gesamten Untersuchungsgebiet der östlichen Meseta Mexikos ist ein *thermisches Windsystem*. In der Karte ist die mittlere Ausprägung dieses regionalklimatischen Phänomens, wie es tagsüber auftritt, durch Windrichtungspfeile dargestellt. Die sich über dem Untersuchungsraum bildenden Konfluenzonen sind durch eine deutliche Schrägschraffur markiert. Nachts kehrt sich das System um, ist aber weniger charakteristisch ausgebildet.

Die thermische Zirkulation ruft in einigen Talungen, besonders den tiefen Durchbrüchen der Sierra Madre Oriental, ausgesprochene Trockeneffekte hervor. Die wichtigsten Trockentäler sind in der Karte durch eine Farbsignatur kenntlich gemacht.

Die *Warmtropen*, charakterisiert durch Frostfreiheit, werden durch ein rotes Punktraster in ihrer räumlichen Verbreitung dargestellt. Die übrigen Regionen gehören zu den kühlen bzw. kalten Tropen. An der Südabdachung zur Balsassenke liegt die Warmtropengrenze in der Nähe der 1800-m-Isohypse, an der südlichen Sierra Madre Oriental nahe 2000 m. Nach Norden senkt sich die Warmtropengrenze am feuchten Abhang bis auf 1300 m ab.

Räume stärkerer *Frostgefährdung*, d. h. einer überdurchschnittlich hohen mittleren Frosterwartung sind in der Nebenkarte eigens ausgewiesen. Hochsenken, Becken und Mulden am Fuße höherer Bergzüge sind am stärksten betroffen.

Die Zunahme der *Frosttage* mit der Höhe verläuft fast linear (vgl. LAUER, 1973; LAUER/KLAUS, 1975 b). Gebiete mit mehr als 200 Frostwechseltagen sind in der Karte eigens ausgewiesen. Sie sind fast identisch mit den Gebieten oberhalb der Baumgrenze und liegen durchschnittlich in Höhen über 4000 m.

Als besonderes hygrisches Phänomen enthält die Nebenkarte die Regionen häufiger *Nebelvorkommen*. Im Mittel sind die Abhänge ab 1800 m besonders nebelreich. Am Nordostabhang sinkt die Grenze vor allem bei winterlichen Kaltlufteinbrüchen bis auf 1200 m NN ab. Die häufige Lage der Nebeluntergrenze markiert sich im Landschaftsbild sehr klar durch den abrupt einsetzenden feuchteren Aspekt der Vegetation, die sich am charakteristischsten im Epiphytenreichtum der Bestände äußert. Ein zweites Nebel-

niveau um 2700 bis 3300 m fördert die Ausbildung der Nebelwälder im engeren Sinne. An Gebirgsstöcken des Binnenlandes ist die untere Nebelgrenze im Bereich des Kartenblattes meist in Höhen um 2700 m ausgebildet. Luvseiten sind vorwiegend nord- bis ost-exponiert.

An der Ostabdachung der Sierra Madre Oriental ist den Nebelgebieten eine Stufe maximaler Niederschlagsmengen vorgelagert. Die Niederschläge entstammen den Wolkenbänken, die weiter oben als Nebel aufliegen. Die maximale Stufe des Niederschlags ist an der Nordostabdachung in Höhen zwischen 800 und 1400 m, an der Ostabdachung bereits bei 600–800 m ausgebildet.

Die Hochflächen sind zum Teil ohne Abfluß zum Meer. Es sind sogenannte endorheische Gebiete (nach DE MARTONNE), deren Abfluß in versalzten Binnen-Restseen erfolgt. Damit zeigen sie die negative Wasserbilanz der Region an. Nur Halophyten können sich in ihrer Umgebung ansiedeln. Diese vegetationsarmen Areale sind die Reservoirs von utgebundenem Feinmaterial, das der Wind als Staub über weite Strecken verfrachtet. An Konfluenzpunkten sind meterhohe Dünen aufgehäuft.

Literatur

- ELLENBERG, H.: Typen tropischer Urwälder in Perú. In: Schweizer. Z. f. Forstwesen, 110, 1959, S. 169–187.
- HENNING, I. u. D. HENNING: Die klimatologische Trockengrenze. In: Met. Rdsch. Jg. 29, H. 5, 1976, S. 142–151.
- JÁUREGUI, E., D. KLAUS u. W. LAUER: Estimación de la evaporación y evapotranspiración potencial del centro de México. In: Recursos Hidráulicos, Vol. VI, 1977, Num. 1, S. 11–26.
- KLINK, H.-J.: Die natürliche Vegetation und ihre räumliche Ordnung im Puebla-Tlaxcala-Gebiet (Mexiko). In: Erdkunde XXVII, H. 3, Bonn 1973, S. 213–225.
- KLINK, H.-J., W. LAUER und H. ERN: Erläuterungen zur Vegetationskarte 1:200 000 des Puebla-Tlaxcala-Gebietes. In: Erdkunde XXVII, H. 3, Bonn 1973, S. 225–229.
- KLINK, H.-J. u. W. LAUER: Die räumliche Anordnung der Vegetation im östlichen Hochland von Zentralmexiko. In: Pflanzengeographie, hrsg. von W. Lauer und H.-J. Klink. Wege der Forschung, Darmstadt 1978, S. 472–506.
- LARCHER, W.: Ökologie der Pflanzen. Stuttgart 1973.
- LAUER, W.: Humide und aride Jahreszeiten in Afrika und Südamerika und ihre Beziehungen zu den Vegetationsgürteln. In: Bonner Geogr. Abh., Bd. 9, 1952, S. 15–98.
- : Zusammenhänge zwischen Klima und Vegetation am Ostabfall der mexikanischen Meseta. In: Erdkunde XXVII, H. 3, Bonn 1973, S. 192–213.
- : Bibliographie (1964–1976). Das Mexiko-Projekt der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Wiesbaden 1976.
- u. P. FRANKENBERG: Untersuchungen zur Ökologikmatologie des östlichen Mexiko. In: Colloquium Geographicum, Bd. 13, 1978 (im Druck).
- u. D. KLAUS: The thermal circulation of the central mexican meseta region within influence of the trade winds. In: Arch. Met. Geoph. Biokl., Serie B, 2314, Wien 1975a, S. 343–366.
- u. D. KLAUS: Geoecological investigations on the timberline of Pico de Orizaba. In: Arctic and Alpine Res. 714, Boulder (Col.), 1975b, S. 315–330.
- u. E. STIEHL: Hygrothermische Klimatypen im Raum Puebla-Tlaxcala (Mexiko). Erläuterungen zu einer Klimatypenkarte 1:500 000. In: Erdkunde XXVII, H. 3, Bonn 1973, S. 230–234.
- PAPADAKIS, J.: Climates of the world and their agricultural potentialities. Buenos Aires 1966.
- PENCK, A.: Versuch einer Klimaklassifikation auf physiogeographischer Grundlage. In: Sitzungsber. d. Kgl. Preuß. Akad. Wiss., Phys.-Math. Kl., 12, Berlin 1910, S. 236–246.
- PENMAN, H. L.: Vegetation and Hydrology. Commonwealth Agricultural Bureaux, Technical Communication No. 53, Bucks (England) 1963.
- SCHMIEDECKEN, W.: Die Bestimmung der Humidität und ihrer Abstufung mit Hilfe von Wasserhaushaltsberechnungen. In: Colloquium Geographicum, Bd. 13, Bonn 1978 (im Druck).
- WALTER, H.: Die Vegetation der Erde in ökophysiologischer Betrachtung, Bd. I: Die tropischen und subtropischen Zonen. Stuttgart 1974.

SICILIAN AGRO-TOWNS

With 4 figures and 1 table

RUSSELL KING and ALAN STRACHAN

Zusammenfassung: Sizilianische Agro-Städte

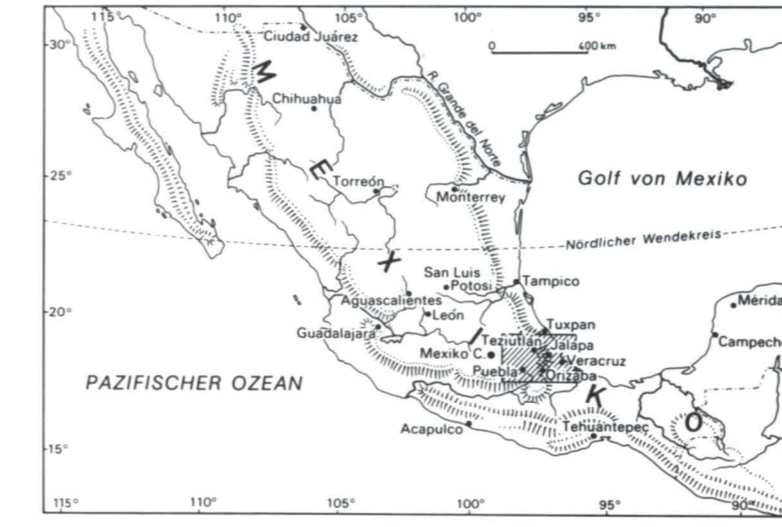
Große ländliche Zusammenballungen sind eine kennzeichnende Siedlungsform über weite Teile des Mittelmeergebietes. Sie finden ihren klassischen Ausdruck in Zentral-Sizilien. Ihre Einwohnerzahl beträgt in der Regel 3 000–15 000. Die Ursprünge der Agro-Städte spiegeln geographische Faktoren wider, die heute nicht mehr zutreffen.

Zwei ursächliche Hauptfaktoren sind wichtig: historische Unsicherheit und die Verbindung mit feudalen Latifundien. Andere Faktoren, wie Wassermangel und Malaria, sind eher Zufall oder Folge als Ursache. Agro-Städte sind auch eng verbunden mit extensiver Getreide- und Weidelandnutzung und haben eine Sozialstruktur und eine Lebensart erzeugt, die eine wirtschaftlich vernünftige Siedlungsver-

Hygrothermische Klimatypen am Ostabfall der zentralmexikanischen Meseta

Tipos climáticos higrotérmicos en la vertiente oriental de la meseta mexicana central

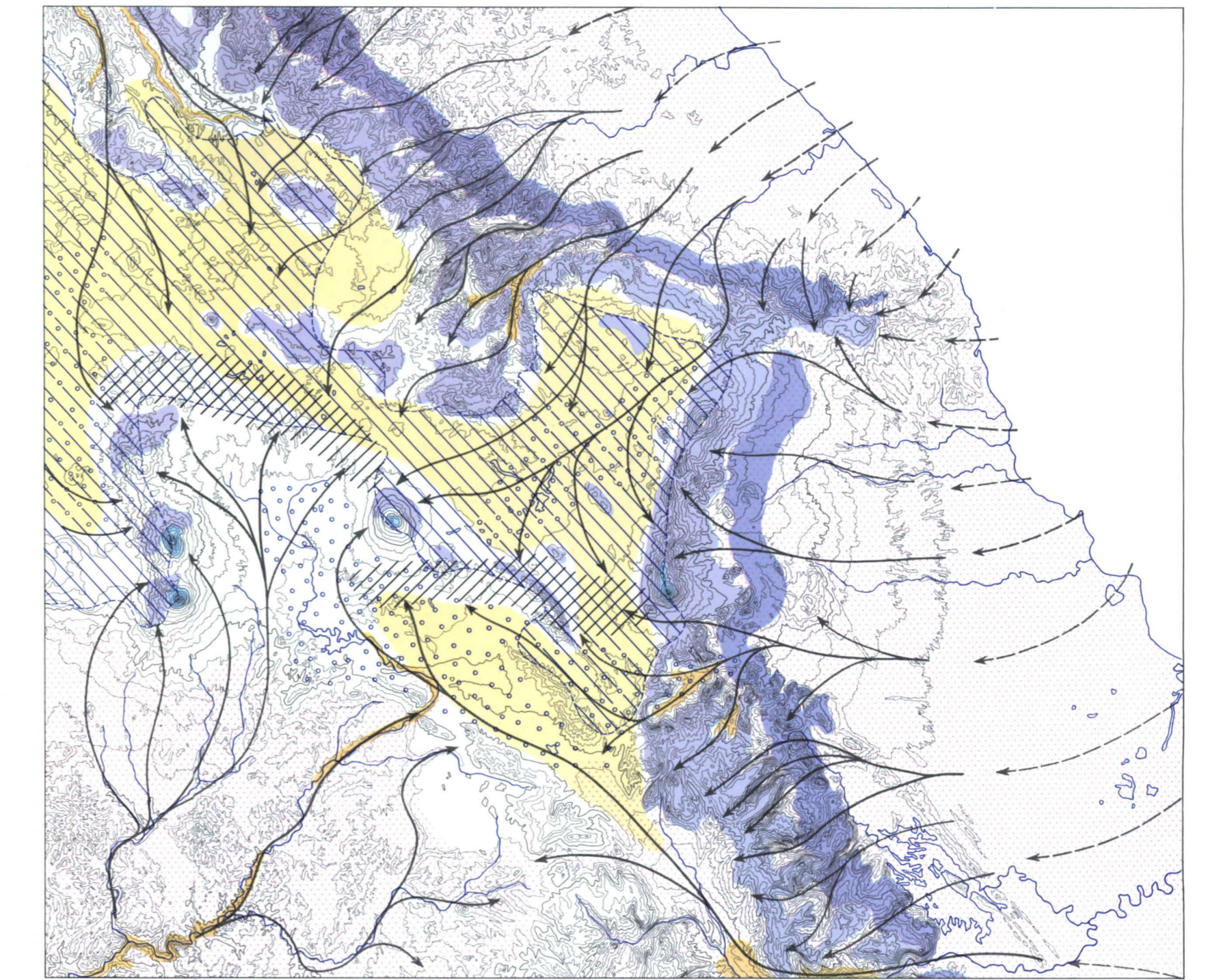
Beilage III zu ERDKUNDE 32,2 Beitrag Lauer / Frankenberg



Regionale Klimaeffekte

Efectos climáticos regionales

0 25 50 75 100 km



- ← Seewinde (Tag) vientos marítimos (día)
- ← Tal- und Hangwinde (Tag) vientos de valle y ladera (día)
- Höhenstufe maximaler Niederschläge piso altitudinal con máximo de precipitaciones
- Zone vorherrschender Staunebel zona de neblías de barlovento
- Warmtropfen (frostfrei) zona tropical cálida (sin heladas)
- Zone starker winterlicher Bodenfröste in Anbaugebieten zona de fuertes heladas superficiales de invierno en áreas de cultivo
- Gebiete mit winterlichen Staub- und Sandstürmen áreas de fuertes tormentas de polvo y tolvaneras invernales
- abfließende Gebiete áreas endorreicas
- Trockentäler valles secos
- Konfluenzonen zonas de confluencia

Hygrothermische Klimatypen (Schema)

Tipos climáticos higrotérmicos (esquema)

Klimatyp tipo climático	Anzahl der humiden Monate numero de meses húmedos											
	subárido	semiarido		semi-húmedo		subhúmedo		húmedo				
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
nevado												
subnevado												
helado												
frio												
fresco												
templado												
subcálido												
cálido												

- Klimastation Estación climática
- Isohygromenen
- Isothermen
- Isohyeten (Niederschlag in mm) Isoyetas (precipitación en mm)

0 10 20 30 40 km

Mexiko - Projekt der Deutschen Forschungsgemeinschaft
 Wissenschaftliche Bearbeitung: WILHELM LAUER unter Mitwirkung von PETER FRANKENBERG
 Proyecto México de la Fundación Alemana para la Investigación científica
 Elaboración científica: WILHELM LAUER con la cooperación de PETER FRANKENBERG