

- Berücksichtigung der Finsterahorn-Gruppe. Geogr. Abh., Vol. 5, No. 1, 1891, S. 24–76.
- LAMB, H.: Climate: Present, past and future, Vol. 1: Fundamentals and Climate now. London 1972.
- LAUER, W.: Problemas climato-ecológicos de la Vegetación de la región montañosa oriental Mexicana. Comunicaciones, Proyecto Puebla-Tlaxcala, Vol. 7, 1973, S. 37–46.
- LAUER W. und STIEHL E.: La Clasificación del clima en la región Puebla-Tlaxcala. Comunicaciones, Proyecto Puebla-Tlaxcala, Vol. 7, 1973, S. 31–35.
- LEOPOLD, L. B.: Pleistocene climate in New Mexico. Amer. Journ. Sci., Vol. 249, 1951, S. 152–167.
- LORENZO, L. J.: Una Hipotesis paleoclimatica para la cuenca de Mexico. Misc. Paul Rivet, México 1958.
- : Los Glaciares de México. Monografías del Instituto de Geofísica, Vol. 1, México D. F. 1964.
- MOSIÑO, P.: Una clasificación de las configuraciones de flujo aereo sobre la Republica Mexicana. Revista de Ingeniera Hidraulica, Vol. 12, No. 2, México 1958.
- OHNGEMACH, D.: Análisis polínico de los sedimentos del Pleistoceno Reciente y del Holoceno en la región Puebla-Tlaxcala. Comunicaciones, Proyecto Puebla-Tlaxcala, 1973, S. 47–49.
- PALMÉN, E. und NEWTON, C. W.: Atmospheric Circulation Systems. Intern. Geophys. Series, Vol. 13, New York 1969.
- RICHMOND, G. M.: Glaciation of the Rocky Mountains, in: The Quaternary of the U. S. ed. H. E. Wright u. D. G. Frey, a review volume for the VII INQUA-Congress, S. 217–230, Princeton N. J. 1965.
- SEARS, P. B. and KATHRYN, H. C.: Palynology in Southern North America. Bull. Geol. Soc. Americ., Vol. 66, 1955, S. 521–530.
- SMAGORINSKY, J.: The dynamical influence of large-scale heat sources and sinks on the quasistationary mean motions of the atmosphere. Quater. Journ. Roy. Met. Soc., Vol. 79, 1953, S. 342–366.
- WHITE, S. H.: The firn field on the volcano Popocatepetl, Mexico. Journ. of Glaciology, Vol. 2, No. 16, 1954, S. 389–392.
- WHITE, S. E.: El Iztaccihuatl. Acontecimientos volcánicos y geomorfológicos en el lado oeste durante el Pleistoceno superior. Investigaciones Vol. 6, INAH, México 1962.
- WILLET, H. C. and SANDERS, F.: Descriptive Meteorology. 2nd ed. Academic Press New York and London 1959, S. 185–195.
- WISEMAN, J. D. H.: Evidence for recent climatic changes in cores from the ocean bed. World Climate from 8000–0 B. C., Proc. intern. Symp., Special issue, Roy. Met. Soc., 1966, S. 84–97.
- Historical Weather Maps* (daily sea-level) published by: U. S. Weather Bureau, Period: 1899–1960.

ZUSAMMENHÄNGE ZWISCHEN KLIMA UND VEGETATION AM OSTABFALL DER MEXIKANISCHEN MESETA

Mit 17 Abbildungen und 1 Beilage (X)

WILHELM LAUER

Summary: Coherency between climate and vegetation at the eastern slopes of the Mexican Meseta

The eastern mountain slopes of Central Mexico—lying on the edge of the tropics—shows in its climatological and geobotanical structure numerous interference phenomena with tropical and extra-tropical characteristics. The plant cover has the properties of a floristic mixture of boreal, neotropical and tropical mountain/southern hemisphere elements. The thermal and hygral occurrences during the year also clearly show a transitional and boundary situation, even though the median climatic behaviour still fulfils the criteria of a tropical definition.

This state of affairs is investigated in individual thermal and hygral characteristics of the climate and the convergences to the vegetation demonstrated. Particular climatic characteristics investigated include: cold air influxes in winter, the temperature gradient with increasing altitude, frost frequency and the levels of maximum precipitation.

Das zentralmexikanische Hochland, zwischen 19° und 20° nördl. Breite am Rande der Tropen gelegen, weist in seiner klimatologisch-geobotanischen Struktur auf zahlreiche Interferenzerscheinungen tropischer

und außertropischer Merkmale hin. Das Pflanzenkleid trägt die Züge einer floristischen Mischung aus borealen, tropisch-südhemisphärischen und tropisch-montanen Elementen. Das thermische und hygrische Geschehen im Jahresablauf macht ebenso eine Übergangs- und Grenzsituation deutlich, wenn auch das Klima in seinem mittleren Verhalten eben noch den Kriterien einer Tropendefinition entspricht.

Mit diesem Beitrag wird die Absicht verfolgt, einige klimatologische Parameter zu analysieren, die sich auf die räumliche Anordnung und die physiognomisch-ökologische Ausprägung sowie das floristische Verhalten der Vegetation auswirken.

Das Untersuchungsgebiet (Abb. 1) umfaßt die östlich der Sierra Nevada gelegenen Hochbecken von Puebla-Tlaxcala, Oriental, Apam und deren nordöstliche bzw. östliche Abdachung zur karibischen Küste. Die drei Teilbecken bilden den östlichen Ausläufer der *Meseta (Altiplancie) Central* von Mittelmexiko, die sich dort mit den östlichen Ausläufern der *Sierra Neovolcánica Transversal* und Teilen der *Sierra Madre Oriental* eng verzahnen. Daher wer-

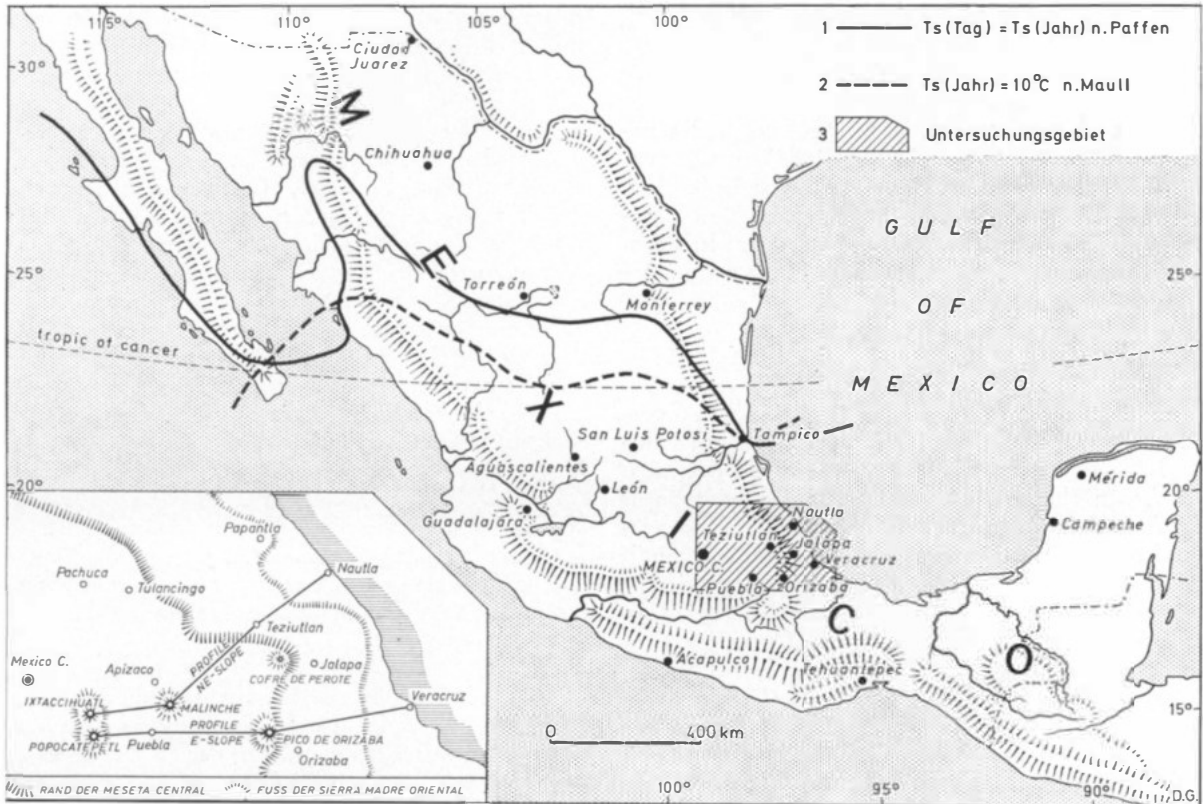


Abb. 1: Lage des Untersuchungsgebietes
Ts = Temperaturschwankung

Area under investigation

1 daily fluctuation of temperature = annual fluctuation of temperature (after Paffen); 2 annual fluctuation of temperature = 10 °C (after Maull); 3 area under investigation

den alle Becken, von denen die von Apam und Oriental abflußlos sind, von Einzelkuppen und kleinen Bergmassiven durchragt und von Bergrücken durchzogen, die ihre Existenz den vulkanologischen und tektonischen Geschehnissen im Überschneidungsbereich der transversalen Vulkanzone und der meridional streichenden Sierra Madre Oriental verdanken.

Fast genau im Zentrum des östlichen Meseta-Bereichs erhebt sich die Vulkanruine Malinche (4461 m). Die Westflanke bildet die nord-süd streichende *Sierra Nevada* mit dem Popocatepetl (5452 m) und dem Ixtaccihuatl (5286 m). Citlaltépetl (Pico de Orizaba) (5680 m) und Cofre de Perote (4282 m) sitzen der Meseta an ihrem östlichen Rande auf. Von dort und auf einer Linie vom Cofre de Perote nach Nordwesten fällt die Meseta aus Randhöhen zwischen 2500 und 3000 m zunächst recht steil, dann aber flach zu einer breiten Küstenniederung ab.

Die Vegetationsstufen

Eine kurze Darlegung der Vegetationsstufen führt am besten in die geökologische Situation des Gebietes

ein. Die Übersichtskarte (Beilage X) und zwei Profile (Abb. 2a, 2b) basieren auf eigenen Erhebungen unter Verwendung bisheriger Arbeiten (Flores Mata u. a. 1971, Miranda u. Sharp 1950, Troll 1955, Beaman 1962 u. 1965, Gomez Pompa 1966).

Im Rahmen des Mexiko-Projektes haben sich jüngst H. ERN (1971, 1972, 1973) und H.-J. KLINK (1973) geobotanischen Studien gewidmet. H. ERN studierte die Gebirgswälder oberhalb der 2500 Isohypse im Bereich der Vulkane Popocatepetl, Ixtaccihuatl und Malinche wie in der Sierra de Puebla unter florengeschichtlichen und ökologischen Aspekten. H.-J. KLINK (1973) beschrieb die Vegetation im Hochbecken von Puebla-Tlaxcala, die Trockenwaldgebiete südlich der Sierra de Tentzo und des Tehuacán-Tales. H.-J. KLINK, W. LAUER und H. ERN (Beil. XI i. d. Heft) legen außerdem eine Karte der klimatischen und edaphischen Vegetationstypen für die Hochbecken von Puebla und Oriental einschließlich ihrer Randhöhen im Maßstab 1:200 000 vor. Meine eigenen geobotanischen Studien erfolgten zwischen 1969 und 1973. Sie erstreckten sich sowohl auf die genannten Hochbecken der Meseta als auch auf den Nordost- und Ostabfall der Sierra Madre

Oriental auf der Linie Huauchinango – Cofre de Perote – Pico de Orizaba-Papaloapan.

Für die spanische und englische Bezeichnung der einzelnen Vegetationseinheiten des Untersuchungsgebietes sind die Übersichten von MIRANDA und HERNANDEZ (1963), GOMEZ POMPA (1965), RZEDOWSKI (1965 u. 1966) und LEOPOLD (1950) von Bedeutung. Die floristische Verzahnung von borealen und tropischen sowie meridionalen und endemischen Elementen wird in verschiedenen Arbeiten von RZEDOWSKI behandelt.

Tierra caliente 0–800 (1000) m

In der Höhenstufe der tierra caliente treten im Bereich des Profils 1 (NE-Abdachung) (Abb. 2a) vorwiegend zwei klimatische Varianten eines Regenwaldtyps auf, dessen Baumbestände vorwiegend dem neotropischen Florenreich angehören. In den heißen, sehr feuchten Niederungen (0–400 m) wächst – vorwiegend auf Kalksubstrat – ein halbimmergrüner tropischer Regenwald (*selva subperennifolia*) (GOMEZ POMPA 1966). Nach der vorherrschenden Leitart „Ojite“ (*Brosimum alicastrum*) auch als „Ojital“ bezeichnet. Weitere Baumspesies sind: *Manilkara zapotilla* (Chicozapote), *Carpodiptera ameliae*, *C. floribunda*, *Sideroxylon tempisque* (Tempisque), *Swietenia macrophylla* (Caoba), *Mastichodendron capiri* (Capiri).

Diese Wälder sind der Standort der Vanillekultivierung, besonders in der Gegend von Papantla. In den durch Viehzucht sehr stark beeinflussten Sekundärbeständen fallen die breitkronigen Wollbäume *Ceiba pentandra*, die braunen, glatten Stämme von *Bursera simaruba* und die dunklen Gummibäume (*Castilla elastica*) besonders ins Auge.

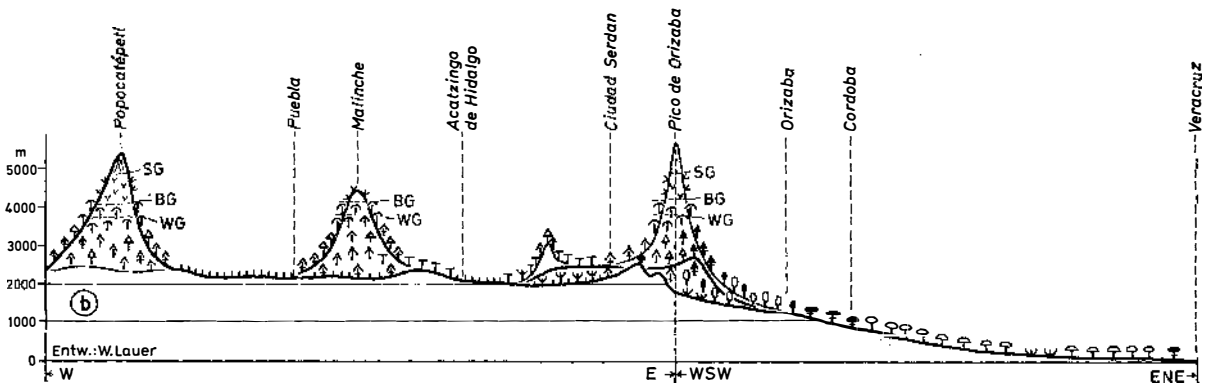
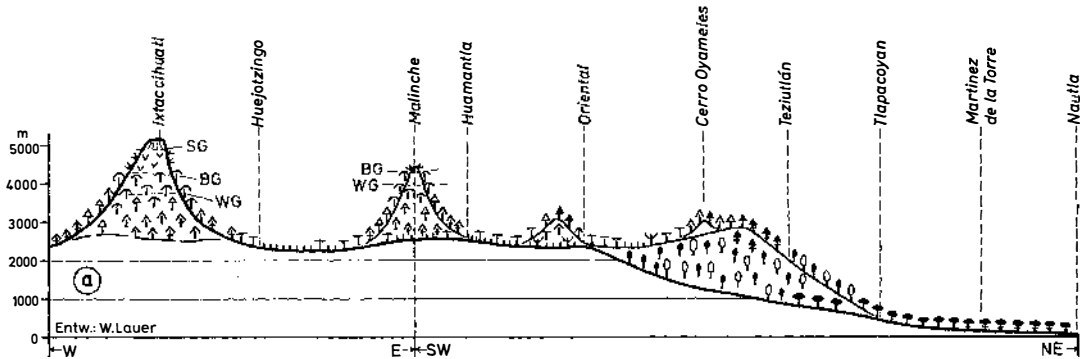
In der oberen Stufe (400 bis 800 m) wird das Vegetationsbild besonders beherrscht durch zwei 40 m hohe Lauraceen der Gattung *Beilschmiedia* (*B. mexicana* und *B. anay*), häufig begleitet von einer laubwerfenden Eiche (*Quercus corrugata*) mit sehr großen Eicheln. An wenigen Stellen findet sich auch die mexikanische Ulme *Chaetoptelea mexicana*. Der Wald ist sehr artenreich, aber nicht voll immergrün (subperennifolio). Weitere Arten sind *Persea schiedeana* und *Ocotea veraguensis*. Wegen der hohen Niederschläge in dieser Höhenstufe ist der Wald reich an Unterwuchs (z. B. die Melastomataceen *Miconia trinervia* und *Miconia hyperprasina*, weiterhin *Piper sanctum* etc.). Am oberen Rand dieser Stufe bei 800 bis 1000 m tritt bereits ein Baumfarn auf (*Cyathea mexicana*). Zahlreiche Epiphyten sitzen den Bäumen auf. Die Originalwälder sind vielfach Kaffee-Fincas und Fruchthainen gewichen. Die Sekundärbestände werden von Kaffeeshattenbäumen (bes. *Inga*-Arten) beherrscht; an den Bachläufen wächst *Cecropia obtusifolia*.

Die Bergkuppen aus vulkanischem Substrat und langgezogene alte Lavafelder sind häufig besetzt von einer Variante des Waldes mit der Leitart *Pseudol-*

media oxyphyllaria, begleitet von *Beilschmiedia anay* und *Quararibea funebris*. Ausgesprochen schlecht drainierte, physikalisch sehr dicht gepackte tonige Böden, die während der Regenzeit überschwemmt und in der kurzen Trockenzeit rissig werden, tragen eine eigenständige Vegetation aus *Quercus oleoides* (immergrün) mit *Coccoloba barbadensis*, *Acacia cornigra*, *Piscidia piscipula* und *Tabebuia pentaphylla*. Sie begleiten die Küste in einem gewissen Abstand hinter den Mangroven und der Strandvegetation (s. Beil. X), wo alte Fluß- und hochgehobene Abrasionsterrassen auftreten. In die eingeschnittenen Flußtäler zieht sich entweder der Niederungswald hinein, oder es hat sich ein eigener Galeriewald ausgebildet aus *Populus mexicana*, *Salix taxifolia*, begleitet von echt tropischen Bachbegleitern wie *Cedrela odorata*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Ficus insipida* und *Swietenia macrophylla*. Häufig tritt aber auch *Platanus lindeniana* in Erscheinung. An der Küste wechseln je nach den topographischen Bedingungen Mangroven (*Rhizophora mangle*, *Conocarpus erecta*, *Avicennia nitida*) mit Sandstrand und Dünenvegetation ab.

Tierra templada 800 (1000) – 1800 (2000) m

Ab 800 bis 1000 m wandelt sich das Bild des Pflanzenkleides sehr einschneidend. Es tritt ein subhumider 20 bis 40 m hoher Bergwald auf, der als feucht-mesophytisch bezeichnet werden kann (bei MIRANDA 1947 *Bosque mesófilo de montaña*), in dessen oberer Baumschicht bereits boreale Gattungen dominieren, darunter vor allem mehrere Eichenarten: *Quercus affinis*, *Quercus excelsa*, *Quercus crassifolia*, *Quercus stipularis*. Besonders auffällig tritt *Liquidambar styraciflua* mit seinen hellgrünen, ahornartigen Blättern in Erscheinung. Die weiteren hochwüchsigen Begleiter sind fast alle borealer Abkunft (*Carpinus carolineana*, *Ostrya virginiana*, *Fagus mexicana*, *Nyssa silvatica*, *Tilia mexicana*, *Juglans pyriformis*, *Meliosma alba*, *Mangolia schiedeana*). In dem niedrigeren Stockwerk finden sich dann relativ häufig und vorwiegend tropisch-montane, aber frostempfindliche Gattungen wie z. B. *Bocconia arborea*, *Befaria glauca*, *Lippia umbellata*, *Weinmannia pinnata*, *Podocarpus matudai* und *Podocarpus reichei* sowie *Drimys winteri*, weiterhin *Clethra macrophylla*, *Oreopanax xalapensis*, *Oreopanax libmannii*, *Myrica mexicana*. In dieser Höhenstufe hoher Niederschläge, in der besonders an der Nordostabdachung auch die Nebelbänke bereits in 1000 bis 1500 m beginnen, finden sich mehrere Baumfarnarten (*Alsophylla bicrenata*, *Cyathea mexicana*, *Cyathea fulva* und *Dicksonia ghiesbreghtii*). Zahlreiche epiphytische Farne, Bromeliaceen und Orchideen sind üppig entwickelt. Die feuchten Steilabfälle sind überdeckt von *Gunnera mexicana*. Die tiefreichenden Nebel verursachen auch, daß bereits die nebelkämmernde *Pinus patula* ab 1300 m anzutreffen ist. Sonst sind Kiefern in diesem Waldtyp im allgemeinen nicht vertreten. Sie bilden jedoch manchmal bereits ab



1) tierra caliente 0-800m

- ♣ Halbimmergrüner tropischer Regenwald (0-400m), vorwiegend auf Kalkböden
semi-evergreen tropical rainforest (0-400m), mostly on calcareous soils
- ♣ Halbimmergrüner trop. Regenw. (0-800m), vorw. auf vulkanischen Böden
semi-evergreen tropical rainforest (0-800m), mostly on volcanic soils
- ♣ Regengrüner tropischer Feuchtwald
semihumid tropical deciduous forest
- ♣ Regengrüner tropischer Trockenwald
semiarid tropical deciduous forest
- ♣ Regengrüner tropischer Dornwald
tropical thornforest and -shrub

2) tierra templada 800-1800m

- ♣ Bergmischwald (Eichen, *Liquidambar*) mit tropischen Bergwaldgehölzen (*Podocarpus*, *Weinmannia* etc.)
lower montane mixed forest (oak, *Liquidambar*) with tropical montane forest species (*Podocarpus*, *Weinmannia*)

3) tierra fria 1800-2700(3200) m

- ♣ Höhen-Nebel-Nadelwald m. tropischen Baum- u. Straucharten (1800-2700m)
montane coniferous cloudforest with tropical species (1800-2700 m)
- ♣ Höhen-Nebel-Nadelwald (2700-3200m)
montane coniferous cloudforest (2700-3200m)
- ♣ Subhumider Koniferen-Bergwald mit Kiefer, Tanne u. Eiche (2700-3200m)
subhumid coniferous montane forest with pine, fir and oak (2700-3200m)
- ♣ Semihumider Kiefern-Bergwald mit *Quercus* und *Alnus* (2700-3200m)
semihumid pine montane forest with *Quercus* and *Alnus* (2700-3200m)
- ♣ Semihumider Kiefern-Eichen-Bergwald (1800-2700m)
semihumid pine-oak montane forest (1800-2700m)
- ♣ Semiarider Kiefern-Eichenwald (1800-2700m), z.T. Reinbestand v. *Juniperus deppeana*
semiarid pine-oak forest (1800-2700m), in parts pure stock of *Juniperus deppeana*
- ♣ Trockenformation von Schopfbblattgewächs. (*Monocotiledoneas arborescentes*)
dry formation of *Monocotiledoneas arboresc.*

4) tierra helada 3200-4800(4950)m

- ♣ Hochgebirgskiefernwald (*Pinus hartwegii*), 3200-4000m
upper montane pine forest (*Pinus hartwegii*), 3200-4000m
- ♣ Hochgebirgsgrasland (*Zacatonales*), 4000-4800m
upper montane grassland (*Zacatonales*), 4000-4800m

5) tierra nevada >4800m

- ♣ Frostschuttlzone und ewiger Schnee
periglacial and glacial belts
- ♣ Ackerland
agricultural land
- ♣ SG Schneegrenze
snowline
- ♣ BG Baumgrenze
timberline
- ♣ WG Waldgrenze
forestline

Abb. 2a: Höhenstufen der Vegetation zwischen Nautla und V. Ixtaccíhuatl (NE-Abhang)

Altitudinal belts of the vegetation between Nautla and the v. Ixtaccíhuatl (NE-slope)

2b: Höhenstufen der Vegetation zwischen Veracruz und V. Popocatepetl (E-Abhang)

Altitudinal belts of the vegetation between Veracruz and the v. Popocatepetl (E-slope)

1400 m auf flachgründigen, etwas trockeneren Hängen kleinere Bestände (meist *Pinus strobus chiapensis*), so z. B. auf der Strecke Tapacoyan-Teziutlan (GOMEZ POMPA 1965). Der Wald ist sonst relativ licht und

durchgängig. MIRANDA und HERNANDEZ (1963) nennen ihn *Bosque caducifolio*, denn trotz der hohen Niederschläge werfen die borealen Arten durchweg zwischen Januar und März ihr Laub. Die tropisch-mon-

tanen Arten dagegen sind immergrün. Diese Tatsache wird noch Gegenstand klimatologischer Erörterungen sein.

Tierra fría 1800 (2000) bis 3200 m

In der tierra fría ab 1800–2000 m gehen die halblaubwerfenden Bergwälder mit Liquidambar und Eichen als Leitarten in Nadelmischwälder über, in denen zunächst die Eichen, dann die Kiefern eine beherrschende Rolle spielen. Nur in feuchten Bachschluchten zieht sich der relativ frostempfindliche Anteil mittelhoher Holzgewächse aus dem subantarktisch-tropisch-montanen Bereich noch weiter hinauf (*Podocarpus* und *Weinmannia* aber kaum über 2400 m, *Oreopanax* bis 2700 m), im Unterwuchs begleitet von strauchartigen Fuchsien, *F. parvifolia* und *F. thymifolia*, *Pernettya ciliata*, *Acaena elongata* und *Gaultheria mexicana*. An einzelnen Stellen, bis ca. 2400 m, findet sich auch vereinzelt *Gunnera mexicana*. An diesen feuchten Abhängen wachsen mehrere laubwerfende bzw. immergrüne Eichenarten, so *Quercus affinis*, *Quercus trinitatis*, *Quercus acatenangensis*, *Quercus crassifolia* und *Quercus crassipes/mexicana* (laubwerfend). Bei 2700 m NN bleiben die südhemisphärisch andinen Arten zurück. Auch die Eichen setzen hier im allgemeinen aus, außer *Quercus laurina*. Das allgemeine Bild dieser Höhenstufe wird vor allem von Kiefern beherrscht. Da sowohl der Nordostpassat als auch der winterliche Norte an den Luvhängen dichte Nebelbänke in Höhen schon ab 1200 m, meist aber erst ab 1800 m verursacht, die bis an die Randhöhen des Ostabfalls (häufig bei 2400 m), an den Vulkanmassiven aber bis 3200 m NN reichen, sollte man mit ERN (1973) von **N e b e l - N a d e l - W ä l d e r n** sprechen. *Pinus patula*, zwischen 1300 und 3000 m NN vorkommend, ist der markanteste Vertreter dieses Nebelwaldes. Sonst sind weiterhin vorhanden: *Pinus pseudostrobus*, *Pinus teocote*, *Pinus leiophylla* und ab 2400 m *Pinus ayacahuite*. Bei 2700 m gesellen sich noch *Abies religiosa* und *Cupressus lindleyi* hinzu. *Abies religiosa*, *Pinus pseudostrobus*, *Pinus ayacahuite* und *Cupressus lindleyi* bilden häufig eine geschlossene Stufe zwischen 2800 und 3200 m, zu denen sich als einzige Eiche *Quercus laurina* hinzugesellt. Diese Stufe findet sich in den gleichen Höhen im Binnenland wieder, so am Popocatépetl und am Ixtaccíhuatl sowie an der Malinche, wo *Abies religiosa* an günstigen Standorten auch Reinbestände bilden kann (ERN 1972). Eine echte Nebelwaldstufe ist an den Binnenlandvulkanen nicht ausgebildet. Im Lee der Nebelwälder, beim Abstieg von den Randketten zu den Binnenbecken, trifft man Standorte von *Pinus oaxacana* und *Pinus rudis*, meist in Höhen zwischen 2700 und 3000 m. Diese Vergesellschaftung kann durch starken menschlichen Eingriff gestört sein. Sie wird dann ersetzt durch *Pinus montezumae*, *Pinus teocote* und *Alnus firmifolia*. Die meist trocken-mesophytische

Binnenlandstufe unterhalb 2700 bis 2400 m abwärts wird an den Vulkanhängen von einem stark durch menschlichen Eingriff gekennzeichneten Kiefern-Eichen-Mischwald eingenommen mit *Pinus teocote* und *Pinus leiophylla*. ERN sieht vor allem in den Beständen von *Pinus montezumae*, *Pinus teocote*, *Alnus firmifolia* und *Pinus leiophylla* eine Feuerklimax, aus der in Höhen unter 2700 m vorwiegend die Eichen, in Höhen über 2700 m vorwiegend die Tanne und *Pinus pseudostrobus* verschwunden sind.

In den trockenen Becken, in Höhenlagen zwischen 2200 und 2700 m ist der baumförmige Wacholder *Juniperus deppeana* weit verbreitet. Er bildet an manchen Stellen lichte Wälder und verzahnt sich mit den Kiefern-Eichen-Wäldern der trockenen Stufe bis in Höhen um 2700 m. In den zentralen Teilen der trockensten Becken treten häufig Schopfpflanzen im Verein mit Agaven und Opuntien auf (KLINK, s. Aufs. i. d. Heft).

Die *Abies religiosa*-Assoziation leitet in 3200 m in eine Höhenstufe von *Pinus hartwegii* über, die zunächst in dichten Beständen, dann aber vereinzelt wächst und an den Vulkanen die Baumgrenze in mittleren Höhen um 4100 m bildet. Nur gedrungene, windgescherte Exemplare von *Juniperus monticola* gehen gelegentlich bis 4250 m hinauf und halten sich an einigen windgeschützten Stellen. Im Unterwuchs des *Pinus hartwegii*-Waldes finden sich Stauden und Gräser (ERN 1972, KLINK 1973).

Die sogenannten „Zacatonales“ oberhalb der Baumgrenze mit den Gräsern *Festuca tolucensis*, *Calamagrostis tolucensis* und *Mühlenbergia quadridentata* reichen noch bis 4800 m hinauf. Es folgen Frostschuttzone und Schnee- bzw. Gletscherfelder an den höchsten Erhebungen. Die Schneegrenze liegt bei ca. 4950 bis 5100 m. Die Südhänge von Popocatépetl und Citlaltépetl sind z. T. zwischen Februar und April schneefrei bis zum Gipfel.

Das Profil 2 (Abb. 2b), ein Schnitt von Veracruz über Orizaba zum Popocatépetl, zeigt gegenüber Profil 1 im Bereich der tierra caliente eine bedeutsame Abweichung. Zwischen Veracruz und Córdoba ist ein Trockengebiet mit Niederschlägen um 800 mm und einer Regenzeitdauer von 4 bis 6 Monaten ausgebildet. Aus diesen Gründen bestimmt eine trocken-mesophytische Vegetation vom Typ der Feucht- bzw. der Trockensavanne das physiognomische Bild. Da das Gebiet stark devastiert ist und großen Viehweiden und Fruchthainen mit Bewässerung Platz gemacht hat, ist die originale Vegetation schwer zu rekonstruieren. Es handelt sich aber in der Höhenstufe 0–800 m um einen semihumiden bis semiariden laubwerfenden Waldtyp, von den mexikanischen Autoren MIRANDA und HERNANDEZ (1963) als *selva baja caducifolia* bezeichnet (laubwerfender Niederwald). An vorherrschenden Arten im feuchteren Typ lassen sich nennen: *Piscidia piscipula* (jabin), *Lysiloma bahamensis* (tsalam), *Cordia dodecandra* (copite), *Lysiloma gellermanni* (tepegu-

aje), *Bursera simaruba*, *Ipomoea* sp. (casahuate), *Ceiba acuminata*, *Tabebuia* sp.

In den trockeneren Teilen, die trocken- bis dornsavannenähnlich ausgebildet sind, treten dann zu den genannten Baumarten sehr viele Leguminosensträucher, darunter beispielsweise *Acacia pennatula*, *Pithecolobium lanceolatum*, *Cercidium* sp. An den trockensten Stellen finden sich auch offene Savannen mit *Crescentia alata*, *Byrsonima crassifolia* und hier und da auch *Curatella americana*. Diese Assoziation steht meist auf schlecht drainierten Böden, ist also fast ausschließlich edaphisch bedingt. Mit Annäherung an die Küste – vor allem im Südwesten von Veracruz und bei hohem Grundwasserstand – trifft man auf reiche Bestände von Palmen (*Scheelea liebmanni* (Corozo), *Sabal mexicana* etc.). Diese Palmsavannen nehmen in Richtung auf die Papaloapan-Mündung noch zu.

Die Gebirgshänge von Córdoba ab ca. 900 m tragen dann die gleiche Eichen-Liquidambar-Assoziation wie am Nordostabhang (s. Profil 2a), die in einer Höhe von 1800 m in einen Nebel-Nadel-Wald übergeht. Hinter den Randhöhen setzen ebenso die trockenen Hochbekenformationen ein (s. Beil. X).

Dieser Überblick zur pflanzengeographischen Situation des Untersuchungsgebietes macht deutlich, daß sich trotz markanter Temperaturhöhenstufen und des tropischen Rhythmus' in der Verteilung der hygrischen Jahreszeiten, in der Anordnung der Vegetationsgürtel und -stufen, im Lebensformgefüge der Pflanzenwelt und besonders in der floristischen Zusammensetzung der Pflanzengesellschaften viele Merkmale einer starken Verzahnung tropischen und außertropischen Einflusses zeigen.

Dieser pflanzengeographische Sachverhalt hat vielerlei Ursachen. Er liegt begründet im Verhalten der Pflanzen und Pflanzengesellschaften selbst, in ihren phylogenetischen und entwicklungsphysiologischen Grundbedingungen, in ihrer Anpassungsfähigkeit an Klima und Boden, in ihrem Wanderungsverhalten und ihren Ausbreitungsmöglichkeiten (bes. Konkurrenzbedingungen). Das klimaökologische Milieu dürfte jedoch für das gewordene Bild des Pflanzenkleides von nachdrücklicher Bedeutung sein, so daß das Großklima mit seinen thermischen und hygrischen Eigenschaften für das großräumige Anordnungsmuster, das Meso-Klima mit besonderen Eigenschaften für das örtliche Verbreitungsgefüge und die physiognomisch-ökologischen Lebensformen verantwortlich sind.

Die Fragestellung lautet also: Welche allgemeinen und besonderen Züge des Klimas im Untersuchungsgebiet prägen und beeinflussen das heutige phänotypische – räumliche wie ökologische – Bild der Vegetation.

Ökologische Aspekte des Klimas

Die allgemeinen klimatischen Verhältnisse des Untersuchungsraumes sind durch eine Reihe von Studien

gut bekannt. Abgesehen von Übersichtsdarstellungen zum Klima der gesamten Republik (VIVÓ 1946, GARCÍA 1965, WARD u. a. 1936 in: Handbuch der Klimatologie, Bd. II, MOSIÑO u. GARCÍA 1973 [im Druck]), gibt es für den Raum der östlichen Hochfläche eine Studie von E. JÁUREGUI (1968), in der alle wesentlichen Mittelwerte des Klimas beschrieben und kartographisch dargestellt sind. Eine Monographie zum Klima des Staates Puebla, der nicht nur den größten Teil der Hochfläche des Untersuchungsgebietes, sondern auch Teile der Nordost- und Ostabdachung umfaßt, wurde von L. FUENTES AGUILAR (1969) bearbeitet. Beide Untersuchungen gipfeln in der Typisierung der Klimate der betreffenden Gebiete in Maßstäben von ca. 1:1,5 Mill. (FUENTES) und 1:1 Mill. (JÁUREGUI). LAUER u. STIEHL legen in diesem Heft eine Karte der Klimatypen im Bereich von Puebla-Tlaxcala vor. Für den Staat Veracruz hat E. GARCÍA (1970) die klimatischen Verhältnisse dargestellt. E. GARCÍA ist auch die federführende verantwortliche Bearbeiterin des ausgezeichneten klimatologischen Kartenwerkes 1:500 000, das die Klimate ganz Mexikos nach dem von der Autorin verbesserten Klassifikationssystem von W. KÖPPEN erfaßt. Die das Untersuchungsgebiet betreffenden Kartenblätter Veracruz und Pachuca enthalten eine recht detaillierte Darstellung der hygrischen und thermischen Zonen bzw. Stufen, aus deren Kombination eine Vielzahl von Klimatypen resultiert, die den Raum hinreichend beschreiben.

Tropische und außertropische Merkmale im Klima Mittel-Mexikos

Die östliche Meseta und ihre karibisch-exponierten Hänge liegen nach den allgemeinen thermischen und hygrischen Parametern im randtropischen Klimabereich, warmtropischen in den unteren, kalttropischen in den oberen Höhenstufen. Hygrisch rechnet das Gebiet zum wechselfeuchten Bereich mit einem reichen Spektrum fast ganzjähriger Humidität mit Niederschlägen über 4000 mm am Abhang bis hin zu semiariden Gebieten mit vier humiden Monaten und Niederschlägen unter 400 mm.

Die Jahresschwankungen der Temperatur liegen – von wenigen Ausnahmen abgesehen – fast allgemein zwischen 5 und 10 °C. Die Tagesschwankungen übertreffen die Jahresschwankungen um ein Geringes. Danach sind die allgemein bekannten thermischen Tropenkriterien erfüllt (MAULL 1936, TROLL 1943) (Abb. 1). Das Thermoisoplethenbild von Puebla (n. GAEB) (Abb. 3) bestätigt diese Aussage. TROLL (1955) hat den Beweis der Tropenzugehörigkeit an weiteren Merkmalen der höchsten Gebirgsregionen, etwa an dem Verhalten der Gletscher, geführt. Auch die Kriterien für Warmtropen (v. WISSMANN 1948) sind für die Niederungen des Untersuchungsgebietes bis in eine Höhe von ca. 1200–1500 m NN voll gültig. In dieser Höhe erst treten episodisch Fröste auf. Im gleichen Höhen-

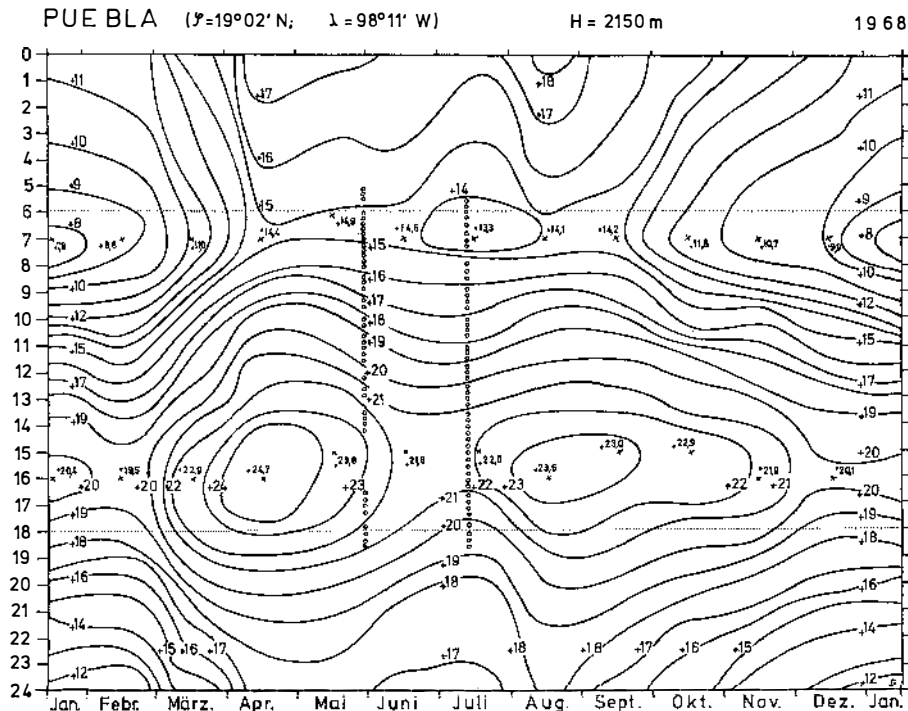


Abb. 3: Thermoisoplethendiagramm von Puebla (Entwurf: G. GAEB)
Thermoisopleth-diagram of Puebla (after G. GAEB)

bereich verläuft auch die von v. WISSMANN für maritim beeinflusste Gebiete gefundene Wärmemangelgrenze (für Kaffee) von $18,3^{\circ}$ Jahresmittel.

Aufgrund der relativ geringen Jahresschwankungen sind am Ostabfall der mexikanischen Meseta die Temperaturhöhenstufen – definiert nach Jahresmitteltemperaturen – in charakteristischer Weise ausgebildet mit allen Lebensformen von Vegetation, Tier und Mensch, wie sie den Tropen eigen sind (TROLL 1955). Die tierra caliente bis 800 m NN ist der Anbaubereich von Kakao, Vanille, Papaya, Kokospalme. Die tierra templada kennzeichnen Kaffee und Zuckerrohr sowie zahlreiche subtropische Agrumen und andere Fruchthaine (Aguacate). In der tierra fría und zum Teil in der tierra helada, der kühlen bzw. kalten Tropenstufe, gedeihen außertropische Obst- und Gemüsesorten sowie Mais, Weizen, Gerste und Kartoffeln.

Dennoch zeigt die eingehende Analyse einzelner Klimaphänomene, daß die aus weitgehend gemittelten Werten sich ergebenden Tropenmerkmale nicht so unumstößlich sind, wie es scheinen mag. Dies läßt sich auch witterungsdynamisch begründen. Die winterlichen Niederschläge entstammen zweifellos zum größten Teil außertropischem Witterungsgeschehen, das zugleich häufige Temperaturstürze verursacht. Hohe interdiurne Veränderlichkeit der Temperatur ist aber untypisch für die Tropen. Das starke nächtliche Absinken der Temperaturen auf der Meseta in den Monaten November bis Februar läßt zugleich einen ther-

mischen Winter, eine kühle Jahreszeit empfinden. Thermische Jahreszeiten sind aber das Charakteristikum der Außertropen. Fragt man in verschiedenen Regionen Mexikos nach der Jahreszeiteinteilung und deren Bezeichnung, so bekommt man unterschiedliche Antworten. Während in den Gebieten um den Golf von Tehuantepec und weiter südlich die spanischen Bezeichnungen verano (Sommer) und invierno (Winter) ausschließlich zur Bezeichnung von hygrischen (tropischen) Jahreszeiten benutzt werden (verano = Trockenzeit, invierno = Regenzeit), so werden die Ausdrücke im mittleren mexikanischen Bergland bereits für die thermischen (außertropischen) Jahreszeiten gebraucht. Damit entsteht aber die Kuriosität, daß im Süden des Landes mit verano die Zeit von November bis April (Trockenzeit = hygrischer Sommer) und im Norden mit dem gleichen Wort die Zeit von Mai bis September (= thermischer Sommer, zugleich aber Regenzeit) gemeint ist. Im Untersuchungsgebiet wird ausschließlich die außertropische Bezeichnung benutzt. Zweifellos empfindet man auf der Meseta Mittelmexikos und ihren Abdachungen beide Rhythmen zugleich: die feuchte und warme Jahreszeit als tropisch, die trockene und kühle Jahreszeit als eine Komponente außertropischen Klimas, als echten thermischen Winter.

Die Temperatur- und Niederschlagsjahreszeiten lassen sich für das mittelmexikanische Bergland witterungsdynamisch recht klar in ihre tropischen und außertropischen Kompo-

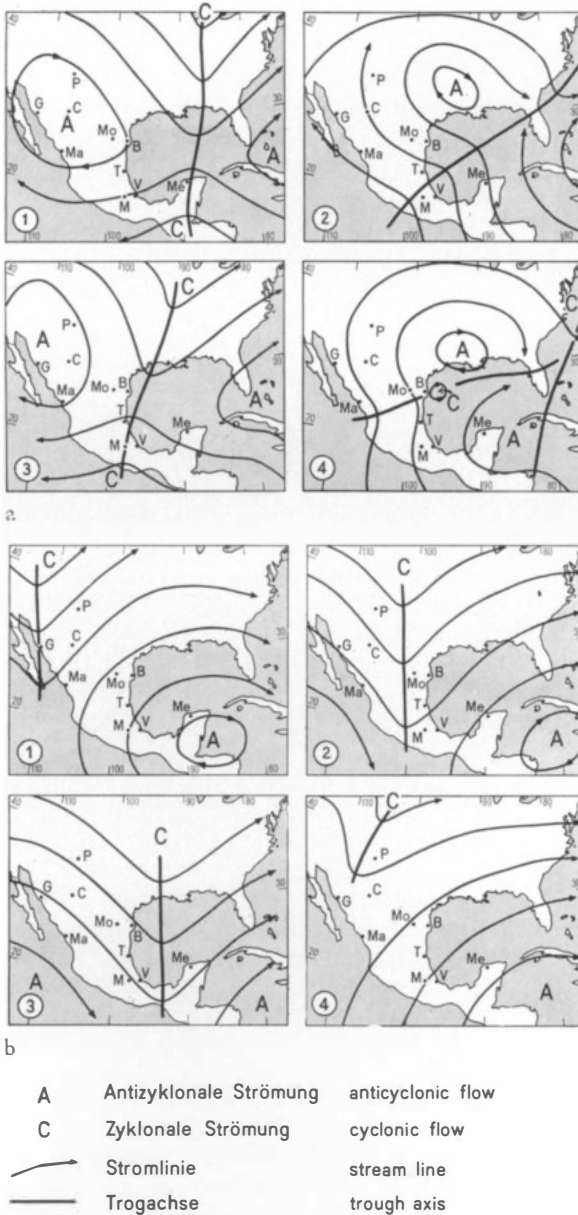


Abb. 4a: Sommerliche Stromlinienstrukturen über Mexiko im 500 mb-Niveau (nach KLAUS 1971)

1, 2, 3, Wellenstörung mit verschiedener Lage der Trogachse (verbunden mit sommerlichen konvektiven Niederschlägen); 4, Trogachse einer Wellenstörung überlagert die Meseta

Stream line structures above Mexico in summer at the 500 mb level (after KLAUS 1971)

4b: Winterliche Stromlinienstrukturen über Mexiko im 500 mb-Niveau (nach KLAUS 1971)

1, 2, 3, Polare Höhenträge in verschiedener Lage, verbunden mit Kaltlufttransport nach Mexiko; 4, Antizyklonale SW-Strömung mit winterlicher Trockenheit

Stream line structures above Mexico in winter at the 500 mb level (after KLAUS 1971)

nenten zerlegen. D. KLAUS (1971) hat eine Wetterlagenklassifikation erarbeitet, die den Anteil tropischer und außertropischer Wetterlagen am Witterungsablauf des Jahres erkennen läßt. Die Häufigkeitsanalyse der Wetterlagen im 700, 500 und 200 mb-Niveau ergab 12 Wetterlagen, bei denen zwei charakteristische Stromliniengruppen vorherrschen: 1. solche, die dem tropischen Ostwindregime angehören, 2. solche, die vorwiegend aus dem außertropischen Westwindregime unmittelbar gesteuert werden (Abb. 4). Die Auftrittshäufigkeit ergibt ein überraschend klares Verteilungsbild im Jahresablauf. Während am Boden mit Ausnahme der Tage mit Kaltlufteinbrüchen das tropische Windregime fast das ganze Jahr über vorherrscht, zeigt die Wetterlagenklassifikation in der 500 mb-Fläche zwar immer noch sehr deutlich, daß zwischen Mai und September das tropische Ostwindregime vorherrscht, dies im Winter aber zirkulationsdynamisch vorwiegend von außertropischen Wetterlagen abgelöst wird (KLAUS 1971, S. 84). Die Wetterlagen während des Sommers verursachen je nach Typ die sommerliche Regenzeit unter besonderer Wetterwirksamkeit der „easterly waves“. Hinter einem Teil der winterlichen Wetterlagen verbergen sich aber die sehr wetterwirksamen Kaltluftvorstöße. Gerade diese Wetterlagen sind nicht ohne Einfluß auf das Niederschlagsregime und besonders auf die Temperaturstruktur im Bereich des Untersuchungsgebietes.

Kaltlufteinbrüche

Zweifellos setzen die winterlichen Kaltluftvorstöße in thermischer wie in hygrischer Hinsicht einen besonderen Akzent im floristischen und ökologischen Bild der Vegetation. Die sog. Northers, in Mexiko und Mittelamerika *Nortes* genannt, haben ihren Ursprung auf dem nordamerikanischen Kontinent. Ihr Wirkungsbereich erstreckt sich über den ganzen karibischen Raum (Abb. 5).

Für das Untersuchungsgebiet können mehrere Typen von Kaltlufteinbrüchen unterschieden werden. Wie HILL (1966) zeigen konnte, sind die Kaltfronten, die an der karibischen Seite Mexikos nach Süden vorstoßen, die wetterwirksamsten. Tampico wird im Mittel der Wintermonate innerhalb eines ausgewählten Zeitraumes von fünf Jahren alle 6,2 Tage von einer Kaltfront berührt, Progreso (Yucatan) noch alle 8,8 Tage. Die Nortes treten in den Wintermonaten zwischen Oktober und März in fast gleichmäßiger Häufigkeit pro Monat auf (schwaches Maximum zwischen November und Februar).

Die Kaltluftmassen der Nortes haben aber eine beschränkte Dicke. Sie sind an einen seichten Luftkörper gebunden. Daher nimmt die Frontfrequenz mit der Höhe ab. Setzt man die Häufigkeit für Veracruz, Tampico, d. h. also für die Küstenstationen = 100%, so ist die Häufigkeit in Mexiko-City in ca. 2300 m NN nur noch 78%. Fast völlig ohne Wirkung bleiben die Nortes an der Pazifikküste der Sierra Madre del Sur.

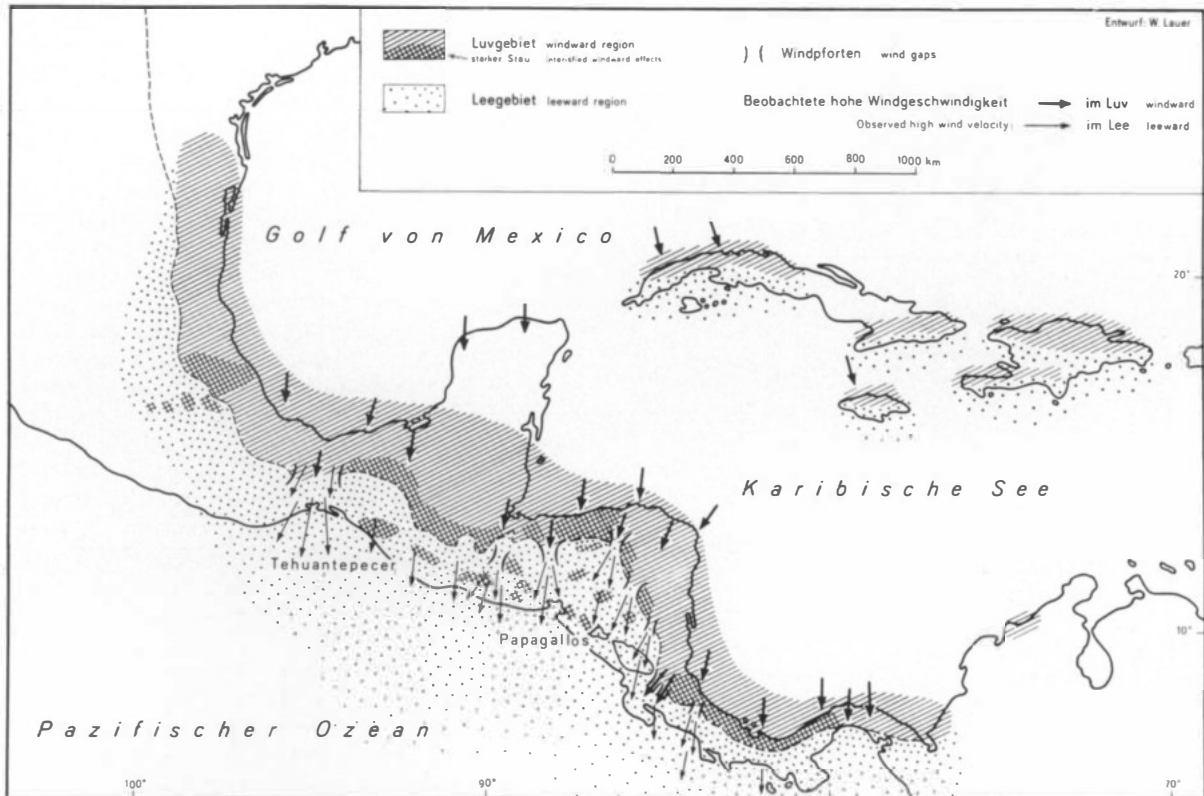


Abb. 5: Einflußgebiet der Nortes / Regions influenced by Northers

Die Nortes verursachen im Winterhalbjahr eine unterschiedlich mächtige Staubewölkung, aus der je nach Feuchtigkeitsgehalt des Luftkörpers auch Niederschläge verschiedener Art und Stärke fallen. Einige Wolken- und Nebelbänke beruhen z. T. aber auch auf den winterlichen Ostpassaten im Verein mit einem starken Land-See- und Ausgleichswindphänomen. Da der Kaltluftkörper in seiner Vertikalerstreckung häufig 2000–3000 m nicht übersteigt, sind die Hochflächen frei von Wolken und verzeichnen winterliches Strahlungswetter.

Man kann wenigstens zwei – nach HILL sogar vier – Witterungstypen von Nortes unterscheiden, die sich am Ostabfall und auf dem Hochland in charakteristischer Weise ausprägen:

1. feucht-kühle Nortes mit starker Wolkenentwicklung am gesamten Ostabhang der Küste bis in Höhen von 3000 m. Die Wolken liegen in den Höhen zwischen 1800 und 3000 m meist auf. Die Wolkenfelder überqueren z. T. auch das Hochland. An den Vulkanen stauen sie sich erneut bis in Höhen um 4000 m. Es kommt zu stärkeren Regenfällen an den Nordostabhängen und den Ostabhängen zwischen Oktober und März mit Maxima in den Früh- und Spätwintermonaten, so daß das Regenmaximum an verschiedenen Stationen in Verbindung mit den ausklingenden Sommerregen im Oktober liegt. Auch an den Binnenland-

vulkanen Popocatepetl und Ixtaccíhuatl fallen manchmal zusätzlich Niederschläge, seltener aber auf der Meseta Central, also etwa in den Becken von Oriental und Puebla. Der Anteil der Winterniederschläge nimmt daher von der Küstenniederung zum zentralen Hochland hin ständig ab (Abb. 6).

2. trocken-kühle bis kalte Nortes aus polaren, aber kontinentalen Luftmassen, bei denen der Ostabfall nur ab 1800 bis 2700 m in Nebel gehüllt ist und das Küstenvorland meist wolkenfrei bleibt, allenfalls eine Hochnebeldecke aufweist. Die Nebel an den Abhängen sind dann nicht immer nassend, häufig fallen aber aus ihnen leichte Nieselregen, die man als „Chipichipi“ bezeichnet. Auf der Hochfläche herrscht wolkenfreies Strahlungswetter vor mit trockener Kühle, nächtlicher Kaltluftseenbildung und Kaltluftabfluß in die Senken und Becken sowie an den Abhängen der Ostkordillere. Hier kommt es dann häufig zu nächtlichem Bodenfrost bis in Höhen um 1200 m NN. Dieser Typ ist etwa halb so häufig wie der Typ 1 und hat sein Maximum in den Mitwintermonaten.

Es wird somit deutlich, daß die Nortes besonders das Temperaturgeschehen im Winter beeinflussen. Die Temperaturstürze betragen bei Durchzug der Front bis zu 5° und mehr (Abb. 7). Die regelmäßig auftretenden Kaltlufteinbrüche und die dadurch bedingte hohe interdiurne Veränderlichkeit der Temperatur,

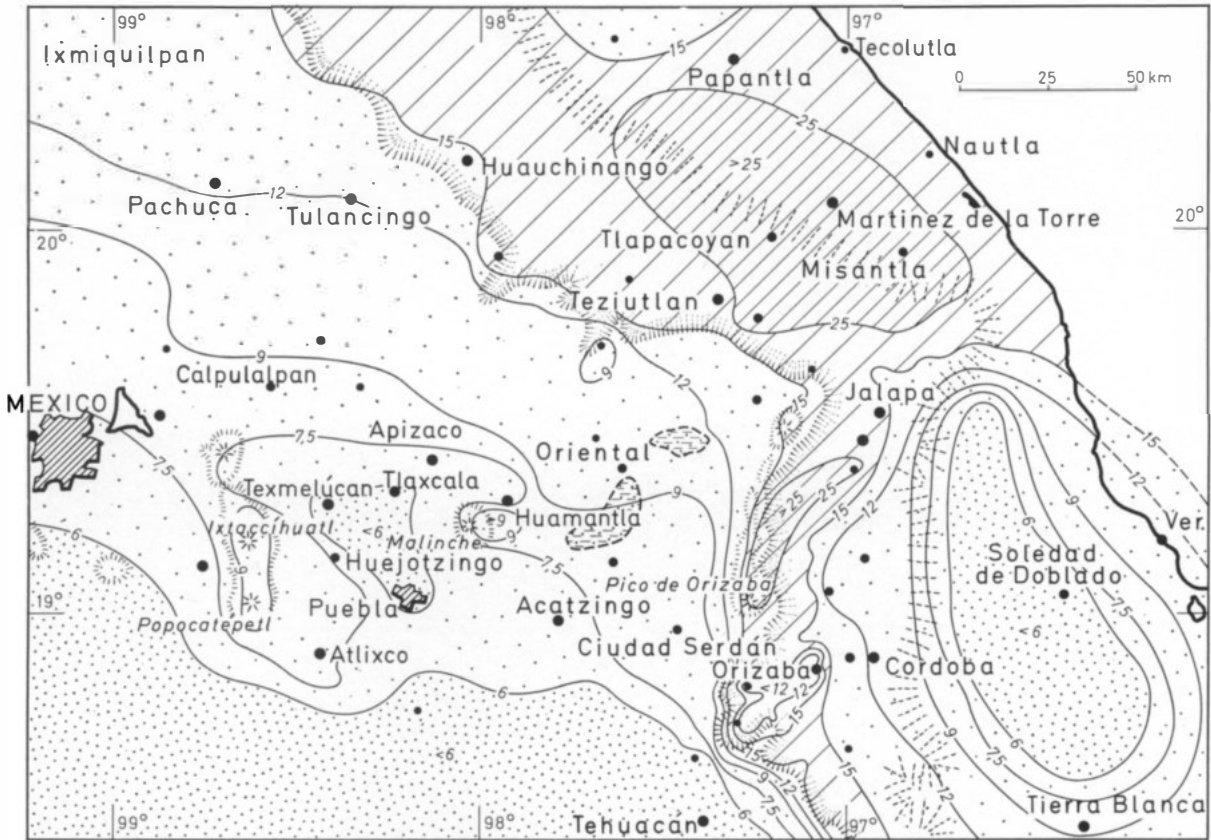


Abb. 6: Anteil (%) der Winterniederschläge (Nov.-März) am Gesamtniederschlag
 Percentage of the winterseason precipitation (Nov. to March) from the mean annual precipitation

die den Tropen sonst weitgehend fehlt, bewirken, daß die Jahresmittel der betroffenen Stationen herabgesetzt werden und die Hangstationen im Jahresmittel zu kühl sind.

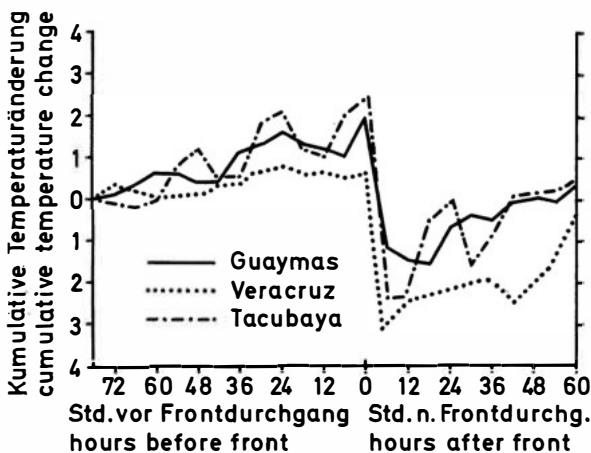


Abb. 7: Temperaturänderungen bei Kaltfrontdurchgängen an 3 mexikanischen Stationen (nach HILL)
 Temperature changes after arrival of cold fronts (after HILL)

Temperaturgradient und Frost

Das differenzierte thermische Verhalten der Küstenniederungen, des Abhangs und der Hochflächen, besonders während der kühlen Jahreszeit, läßt sich aus dem Temperaturgradienten, d. h. dem Abnahme-koeffizienten der Temperatur mit der Höhe ableiten. Der mittlere Gradient liegt im Untersuchungsgebiet im Jahresmittel unter dem üblichen Wert von $0,6^\circ$ pro 100 m. Er beträgt im Mittel von 29 Stationen des Profilbereichs 1 (Nordostabdachung) im Jahresdurchschnitt $0,42$ und im Mittel von 20 Stationen im Profilbereich 2 (Ostabhang) $0,48^\circ$ pro 100 m. Dabei zeigt er einen deutlichen Jahresgang. Im Winter, der relativ trockenen Zeit mit einer stabilen Gesamtschichtung der Luftkörper, ist der Gradient etwas geringer als im Sommer, wenn die Luftmassen feucht-labil geschichtet sind.

Abb. 8 zeigt den Gradienten im Profilraum 1 (Nord-Ost-Abhang) für Juli und Januar. Die Regressionsgerade für 29 Stationen weist für Juli einen Gradienten von $0,48^\circ$ pro 100 m aus, für Januar von $0,33^\circ$. Im Profilraum 2 (Ostabdachung) (Abb. 9) sind die respektiven Werte bei 20 Stationen $0,49^\circ$ (Juli) und $0,47^\circ$ (Januar). Daß Temperatur und Höhe einen

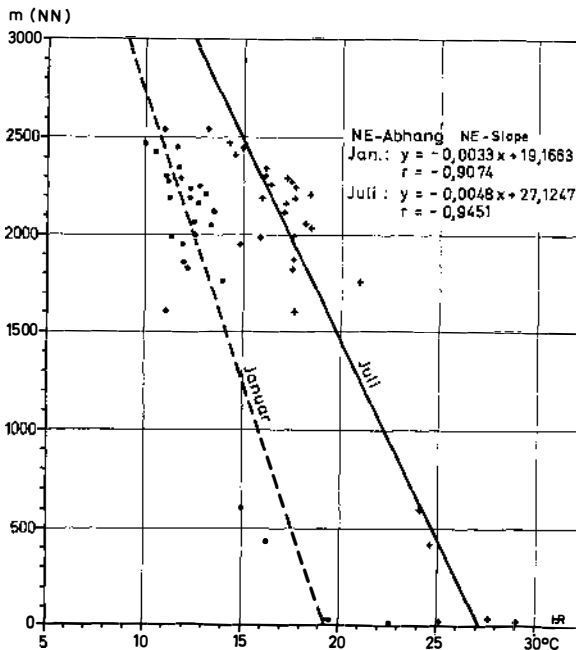


Abb. 8: Temperaturgradient im Januar und Juli am NE-Abhang (Lage des Profils s. Abb. 1)
Temperature gradient in January and July (NE-slope)

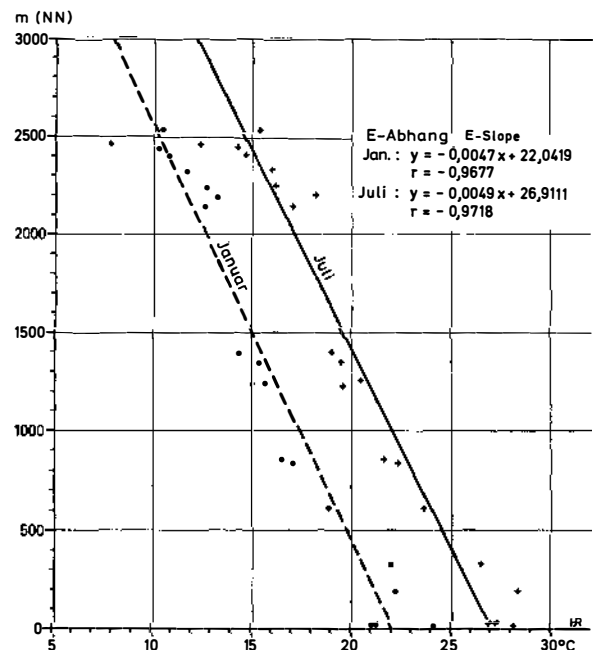


Abb. 9: Temperaturgradient im Januar und Juli am E-Abhang (Lage des Profils s. Abb. 1)
Temperature gradient in January and July (E-slope)

engen Zusammenhang haben, wird durch den hohen Korrelationskoeffizienten von $0,91^\circ$ (Januar) bzw. $0,95^\circ$ bei Profil 1 und $0,97^\circ$ bzw. $0,97^\circ$ bei Profil 2 belegt.

Die Analyse der positiven und negativen Abweichungen der einzelnen Stationswerte von der Regressionsgeraden läßt aber eine wichtige ökologische Interpretation zu. Sowohl im Juli als auch im Januar streuen die Temperaturwerte zwar im ganzen wenig, aber in charakteristischer Weise. Die Hangstationen beider Profile weichen negativ von der Geraden ab, die Hochlandstationen vorwiegend positiv.

Trägt man die Höhe der positiven und negativen Residuen des Temperaturgradienten in eine Karte ein (Abb. 10), so ergibt sich ein klimatologisch sehr eindrucksvolles Bild. Im Januar, z. Z. der häufigen Kaltlufteinbrüche, betragen die negativen Abweichungen am Nordosthang bis zu 4° , am Ostabfall bis zu $1,4^\circ$. Das Hochland zeigt positive Abweichungen bis zu $1,5^\circ$, die Küstenniederung im Trockengebiet (Profil 2) positive, im feuchten Gebiet (Profil 1) vorwiegend negative Werte. Erst an der Küste selbst gehen auch sie in positive Werte über.

Die positiven und negativen Residuen spiegeln das Wettergeschehen deutlich wider. Die Abhänge sind im Hinblick auf die Wärmeverhältnisse am eindeutigsten von den Kaltlufteinbrüchen betroffen. Bei den feuchtkühlen Nortes ist häufig der gesamte Hang einschließlich der Tiefländer wenigstens ab 1000 m NN in Nebel und Wolken gehüllt, aber auch die halb so häufigen, trockenen Nortes verursachen noch Nebel an den

Hängen oberhalb 1800 m. Die freiwerdende Kondensationswärme, die eigentlich den Gradienten begünstigen sollte, wird rasch verbraucht durch das ständige Verdunsten der aufliegenden Wolken. Die direkte Sonneneinstrahlung unterliegt einer starken Reflektion an der Wolkenoberfläche. Nur ein geringer Teil der Strahlung wird absorbiert und diffundiert und dringt so bis zur Erdoberfläche hindurch. Eine ständige Unterkühlung der Hänge ist die Folge. Am stärksten betroffen ist der Nordosthang in Höhen zwischen 1000 und 2500 m. Zum Meer hin nähern sich die negativen Abweichungen dem Nullpunkt. Die positiven Residuen über dem Meer erklären sich durch die relative Wärme des Golfs von Mexiko gegenüber dem abgekühlten Festland.

Die Hochflächen und Hochbecken zeigen im Januar positive Abweichungen. Das überrascht nicht. Die kalte Norteströmung ist – wie bereits gezeigt wurde – nur sehr seicht. Sie erreicht nur selten mehr als 2–3000 m Dicke. Sie überquert als Kaltfront nur in 50 bis 80% der Fälle (HILL) den Gebirgsrand und selten mit größeren Wolkenfeldern. HILL konnte auch nachweisen, daß bei Kaltfrontdurchgängen die Temperaturen am Hang und an der Nordostküste $0,5$ bis 1° mehr abnehmen als an den in gleicher geographischer Breite liegenden Hochlandstationen. Sie dringen nur an der Ostküste nach Süden vor. Erst auf dem Isthmus von Tehuantepec überqueren sie gelegentlich auch als Front den Kontinent.

Für die zentrale Meseta hat das zur Folge, daß zwar die Temperaturen sich an Kaltfronttagen nachts

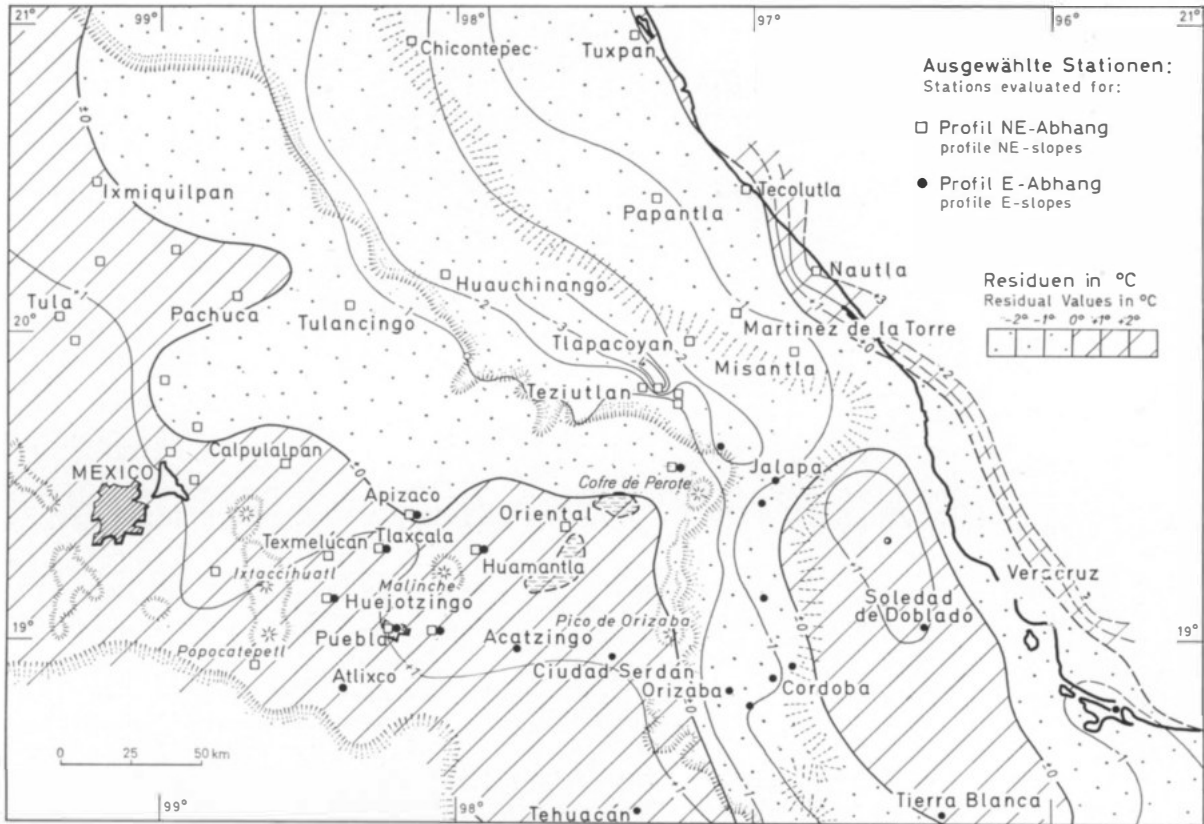


Abb. 10: Positive und negative Residuen des Temperaturgradienten im Januar im Bereich des NE- und E-Abhangs
Positive and negative residual values of the temperature gradient in January at the NE- and E-slopes

stärker erniedrigen, die ungehinderte Einstrahlung bei Tage läßt sie aber übernormal ansteigen. Hinzu kommt für das Becken von Puebla noch eine adiabatische Erwärmung der Nordostströmung, die der Block von Tlaxcala, der das Becken gegen Norden abriegelt, provoziert. Die Becken von Mexiko und Oriental dagegen verzeichnen an einigen Stellen an ihrem Nordoststrand wie am Hang schwache negative Residuen (z. B. Perote), weil feuchtere Luftmassen bei entsprechender Höhenausdehnung der Kaltluft häufig das randliche Binnenland erfassen.

Auf der Ostabdachung (Abb. 10), die den Raum zwischen dem Becken von Puebla und den Niederungen von Veracruz umfaßt, sind die negativen Residuen nur in einem verhältnismäßig kleinen Hangabschnitt ausgebildet. Die Fußfläche der Hänge zeigt im Bereich des Trockengebietes um Soledad de Doblado und Rinconada, das gegen die Nortes abgeschirmt ist und in dem absinkende Luft Wolkenauflösung hervorruft, sogar recht hohe positive Werte.

Die Unterkühlung der Abhänge und die Überhitzung der Meseta bleibt auch im Sommer (Juli) erhalten. Hinsichtlich der ökologischen Wirkung der negativen Temperaturanomalien sind die Sommerverhältnisse aber ohne Bedeutung, da das gesamte Tempera-

turniveau dann um 6 bis 8° höher liegt und für die Vegetation keinen Wärmemangel verursacht.

Die negativen Abweichungen im Winter üben aber auf das Pflanzenkleid eine besondere Wirkung aus, da sie Minimumbedingungen schaffen, besonders wenn es zu Frosttemperaturen kommt. Der Vergleich der absoluten Frostgrenze im Bereich des Hochlandes und der Ostabdachung weist deutliche Unterschiede auf. Abb. 11 zeigt für das Binnenland eine lineare Abhängigkeit der Frosthäufigkeit von der Höhe über NN. Die mittlere Frostgrenze liegt bei ca. 1900 m NN. Am Ostabhang, den Luvseiten der Nortes, ist eine lineare Abhängigkeit von Frosthäufigkeit und der Höhe für die unteren Grenzbereiche kaum noch vorhanden, da einzelne Fröste wegen der ständigen Abkühlung des Hanges sogar bis unter 1000 m hinabreichen. Die mittlere absolute Frostgrenze muß man hier bei ca. 1250 m, also um 650 m tiefer als im Binnenland ansetzen (Abb. 12). Fröste sind also in der Vegetationsstufe der tierra templada wirksam. Der Andrang und die Häufung borealer Florenelemente, die den Aspekt der Pflanzenwelt, vor allem in der hochstämmigen Baumflora, bereits ab 1000 m, als Nadelwald ab 2400 m bestimmen, findet hierdurch eine plausible Erklärung, ebenso aber die geringe Wachstumsintensität

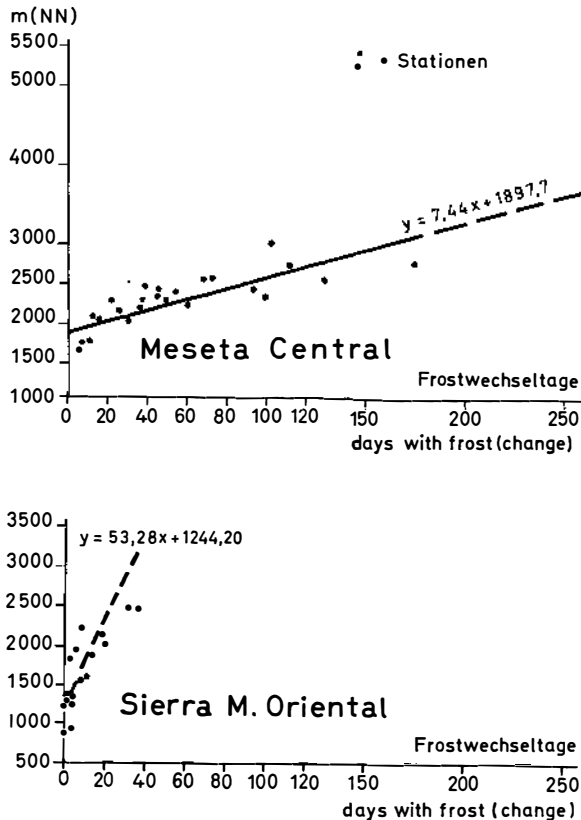


Abb. 11: Korrelation zwischen Frosthäufigkeit und Meereshöhe
Correlation between the frequency of frost and height above sealevel

der tropisch-montanen, aber noch frostempfindlichen Vegetationsformtypen, die nur das niedere Stockwerk des Bergwaldes bilden und den Unterwuchs bis in Höhen von 2400 (2700) m beherrschen. Hiervon sind als baumförmige Pflanzen betroffen: *Podocarpus*, *Weinmannia*, *Bocconia*, die an ihren günstigen Standorten in niederen Breiten als höhere Bäume von 20 und mehr Metern wachsen, sich hier aber in Größenordnungen zwischen 6 und 15 m bewegen. Ihr Wachstum ist sichtlich gehemmt. An die starke Abkühlung im Winter und die auftretenden Fröste sind die borealen Arten aber adaptiert. Sie reagieren mit Laubfall ganz im außertropisch-thermischen Jahreszeitenrhythmus. Die tropisch-montanen Arten sind immergrün. Sie folgen dem tropischen Niederschlagsregime, das bei 9 bis 11 humiden Monaten und häufigen Nebeln eine ständige Assimilation erlaubt und damit eine Tropophyllie aus Wassermangel ausschließt. Auf die niedrigen Temperaturen reagieren sie offenbar mit langsamem Wachstum. Im trockenen Binnenland hingegen reichen die Warmtropengewächse in Form geschlossener Bestände des laubwerfenden Trockenwaldes bis in Höhen um 1800 m (KLINK i. d. H.).

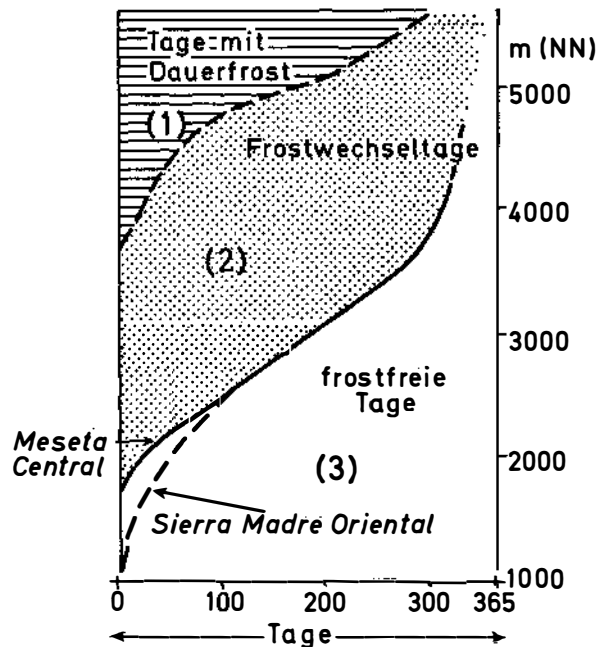


Abb. 12: Vertikale Zonierung des Auftretens von Frostwechsel und Dauerfrost im Bereich der mexikanischen Vulkane
Vertical zonation of the occurrence of permanent frost and days with change of frost and thaw
1 days with permanent frost; 2 days with change of frost and thaw; 3 days without frost

Die Stufe maximalen Niederschlags und die Nebel

Die sehr unterschiedlichen hygrischen Klimabedingungen des Untersuchungsraumes differenzieren naturgemäß das Pflanzenkleid sehr reichhaltig. Die höchsten Jahresmengen fallen an der karibischen Abdachung der Meseta (Abb. 13). An einigen Stationen werden hier über 4000 mm gemessen. Während am nordöstlich exponierten Hang die Niederschläge bis zur Küste reichlich bleiben und 1200 mm nicht unterschreiten, ist im Südteil der Küstenniederung westlich von Veracruz ein Trockengebiet ausgebildet mit Niederschlägen unter 800 mm.

Die Hochflächen und Hochtalsenken hinter der Gebirgsmauer verzeichnen Niederschläge unter 1000 mm. Im Raum von Puebla-Tlaxcala liegen sie beispielsweise zwischen 650 und 950 mm, im Becken von Oriental nur zwischen 400 und 600 mm, im Tehuacán-Tal fallen weniger als 450 mm.

Die Mehrzahl der überfeuchten Hangstationen weisen zwischen Januar und April aride Monate auf, in denen die monatlichen Niederschlagsmengen unter 50 mm bleiben bei Gesamtjahresmengen über 2000 mm. An den feuchten Hängen sind daher im Durchschnitt nur 7 bis 10 Monate humid. Die Hochflächen mit den vorherrschenden Sommerregen liegen vorwiegend im Bereich von 5 und 6 humiden Monaten. Nur die trockensten Gebiete in den Becken von Apam, Oriental

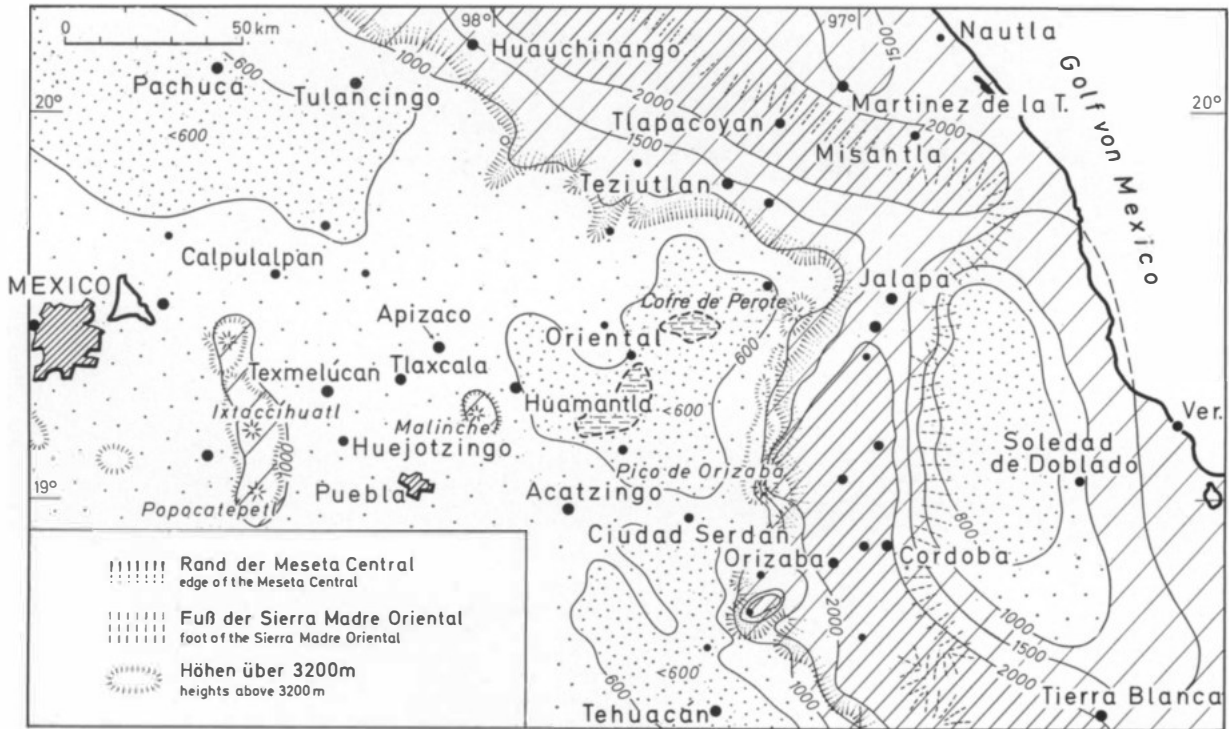


Abb. 13: Mittlerer jährlicher Niederschlag am Ostabfall der mexikanischen Meseta
Mean annual precipitation at the eastern slopes of the Mexican Meseta

und Tehuacán haben auch in einigen Sommermonaten trotz heftiger Gewittergüsse eine negative Wasserbilanz. Ausgesprochen wüstenhafte Gebiete fehlen dagegen im Bereich des Untersuchungsgebietes. Andererseits sind trotz der sehr hohen Niederschlagsmengen am Abhang ausgesprochen vollhumide Bereiche ebenso selten.

Die Niederschläge fallen in der Hauptsache in den Sommermonaten zwischen Mai und Oktober mit zwei Maxima (im Juni und August/September) oder einem Maximum, das dann häufig im Juli oder August liegt (Abb. 14). Die Sommerregen resultieren aus Passatstörungen in Verbindung mit dem täglichen Erwärmungseffekt (Zenitalregen). Die karibischen Abdachungen erhalten zusätzlich in den Frühwintermonaten (zwischen Oktober und Januar) Niederschläge advektiven Typs, die von den schon genannten Kaltluft-einbrüchen herrühren.

Ein Blick auf die Niederschlagskarte (Abb. 13) läßt erkennen, daß das Relief in auffallender Weise das Verteilungsmuster der Niederschläge mitbestimmt. Es unterstützt die konvektiven Vorgänge in erheblichem Maße und löst Niederschläge bereits in den unteren und mittleren Höhenlagen aus. Anhand eines Diagramms (Abb. 15), in dem die Jahresmenge ausgewählter Niederschlagsstationen als Funktion der Höhe dargestellt ist, läßt sich ein Intervall zwischen 400 und 1400 m als Höhen-Stufe maximalen Nieder-

schlags eingrenzen. Diese Tatsache entspricht vielen Untersuchungen, wie sie an anderen tropischen Gebirgen gemacht worden sind und folgt durchaus der Regel, wie sie von WEISCHET (1969) und WEISCHET-HAVLIK (1966) formuliert wurde.

Wählt man bestimmte Profilabschnitte aus, so zeigt sich, daß diese Stufe maximalen Niederschlags allerdings nicht in den gleichen Höhenintervallen liegt. An der Nordostabdachung (Abb. 16a+b) liegt die Station mit den absolut höchsten Jahresniederschlagsmengen in 980 m (Cuetzalan, 4451 mm). Eine Massierung von Niederschlagshöhen um 3000–3500 mm scheint sich in dem Intervall zwischen 800 und 1400 m anzuordnen, obwohl hier nicht sehr viele Stationen zur Verfügung sind. Jedenfalls sind bei 1565 m NN (Station La Fundación) die Niederschläge bereits auf 2550 mm abgesunken. Die Stationen um 2000 m, noch auf der Außenflanke des Gebirgsabfalles gelegen, verzeichnen nur noch Niederschlagswerte zwischen 1700 und 1200 mm. Die Niederschläge sinken dann auf der Hochfläche in Höhen von 2200 bis 2500 m weiter ab. In den niedrigsten Teilen der Becken liegen sie nur um 600 mm. Zu den Gebirgsflanken der Becken nehmen sie wieder zu und betragen in 3000 bis 3300 m sogar um 1100 und 1200 mm. Von da an nehmen sie dann rasch ab. In 4000 m Höhe werden an der einzigen zur Verfügung stehenden Station nur noch 782 mm gemessen (Station Repetidora am Ixtaccíhu-

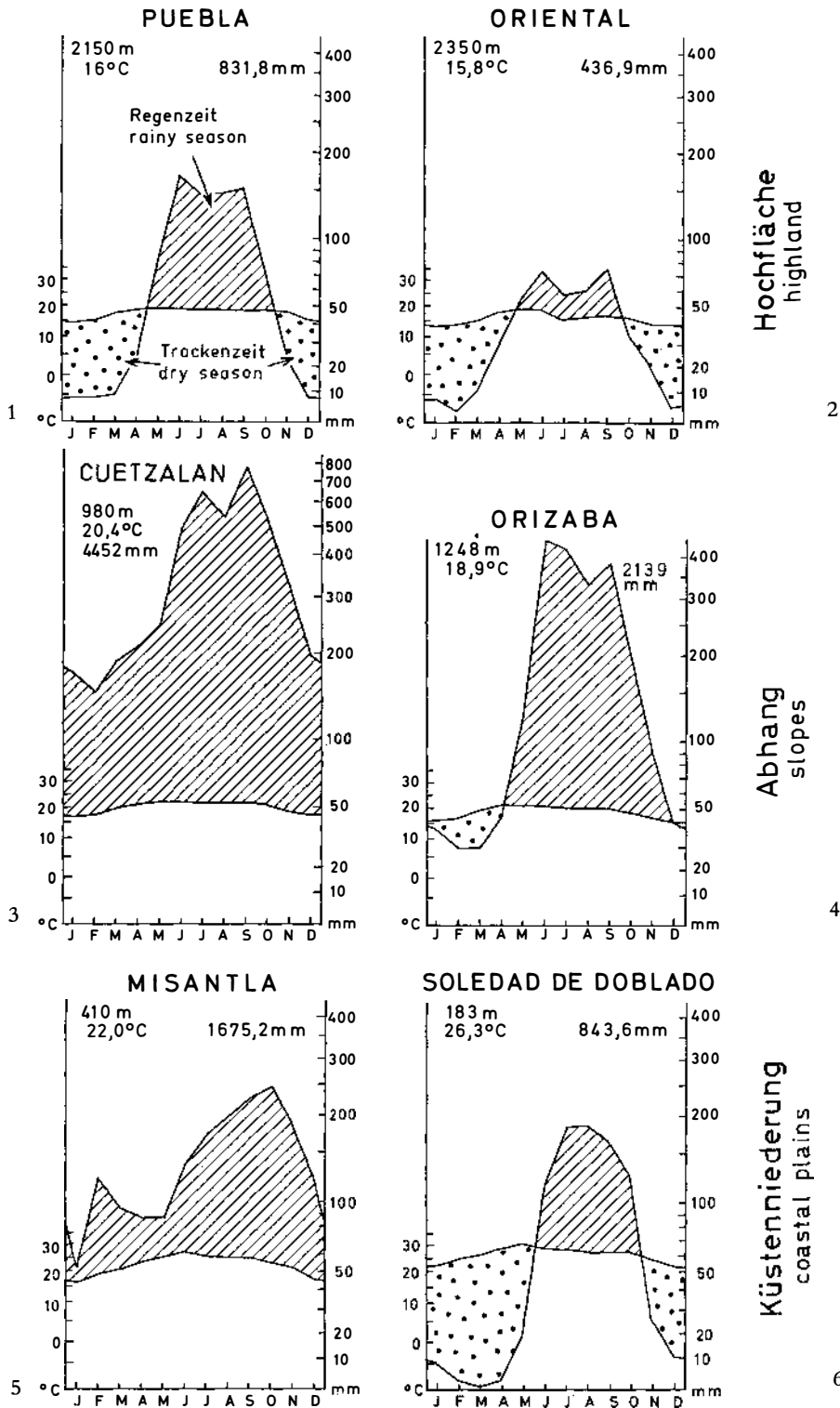


Abb. 14: Klimadiagramme von Stationen der Hochfläche (1, 2), des Ostabhanges (3, 4) und der Küstenniederung (5, 6)
 Climatic diagrams of stations of the Meseta (1, 2), the eastern slopes (3, 4), and the coastal plains (5, 6)

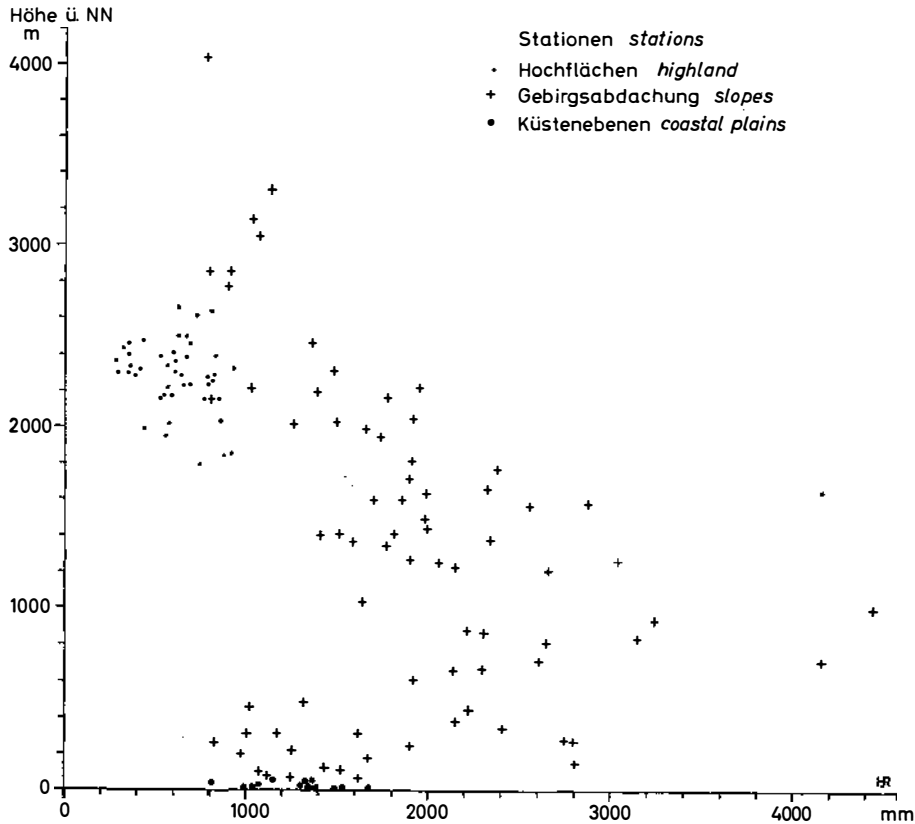


Abb. 15: Jährliche Niederschlagssummen und Meereshöhe im Bereich des Untersuchungsgebietes
Mean annual precipitation and height above sealevel in the area under investigation

atl). Nimmt man die Stationen der trockenen Hochfläche aus, so läßt sich aus den Stationswerten der Abhänge ableiten, daß offenbar neben einer Stufe maximalen Niederschlags am Übergang der tierra caliente zur tierra templada zwischen 600 und 1400 mm ein zweites Maximum in der Stufe eines zweiten Kondensationsniveaus zwischen 2900 und 3300 m auftritt. Die Menge der Niederschläge überschreitet wegen des in diesen Höhen bereits stark reduzierten Wasserdampfgehaltes der Luft aber Werte zwischen 1000 und 1200 mm nicht mehr. Das zweite Kondensationsniveau ist z. T. auf das Anheben der Wolkenuntergrenze als Folge des Heizeffektes auf den Hochflächen zu deuten (Randschwelleneffekt n. WEISCHET 1969). Aber auch am kontinuierlich wetterexponierten Abhang der höheren Vulkane (z. B. Pico de Orizaba) wird dieses zweite Kondensationsniveau auch ohne eigens vorhandene hohe Heizfläche beobachtet. Eine Einwirkung von Hangaufwinden, die dort im Winter häufig regelmäßig nachzuweisen sind, kann hier nicht ausgeschlossen werden. Die durchschnittliche Abnahme der Niederschläge von der Stufe maximalen Niederschlags bis in 4000 m Höhe beträgt an der Abdachung je 100 m ca. 85 mm.

Die Stufe maximaler Niederschläge und häufigster

Nebel entsprechen sich nicht, überschneiden sich aber, wie Abb. 16a+b zeigt. Die Nebelzone beginnt erst je nach Hang in 1400 und 1800 m. Das zweite Maximum der Niederschläge in ca. 3000 m NN ist jedoch weitgehend mit dem zweiten Wolkenniveau identisch. Es handelt sich dort vorwiegend um zusätzliche Niederschläge, die vor allem im Winter in diesem feuchten Nebelniveau als Nieselregen oder sogar nicht meßbare Niederschläge ausfallen.

Merkwürdigerweise ergibt die gesonderte Bearbeitung der advektiven Winterniederschläge, verursacht durch die außertropischen Kaltfronten, keine durchgreifende Änderung im Verhalten des Niederschlags mit der Höhe. Die Erwartung einer stetigen Zunahme bis in größere Höhen bestätigt sich nicht. Dies mag durch die geringe vertikale Dicke des Kaltluftkörpers verursacht sein. Eine Zunahme der Niederschläge bis in Höhen der höchsten Erhebungen, wie dies für die Advektivwetterlagen der Außertropen typisch ist, kann dabei nicht zustandekommen. Die genauen Gründe hierfür müssen noch untersucht werden.

Die Stufe maximaler Niederschläge ist von erheblicher ökologischer Wirkung. Da trotz hoher Jahresregemengen eine klare Periodizität im Jahresablauf auftritt, sind die Waldtypen in dieser Höhenstufe

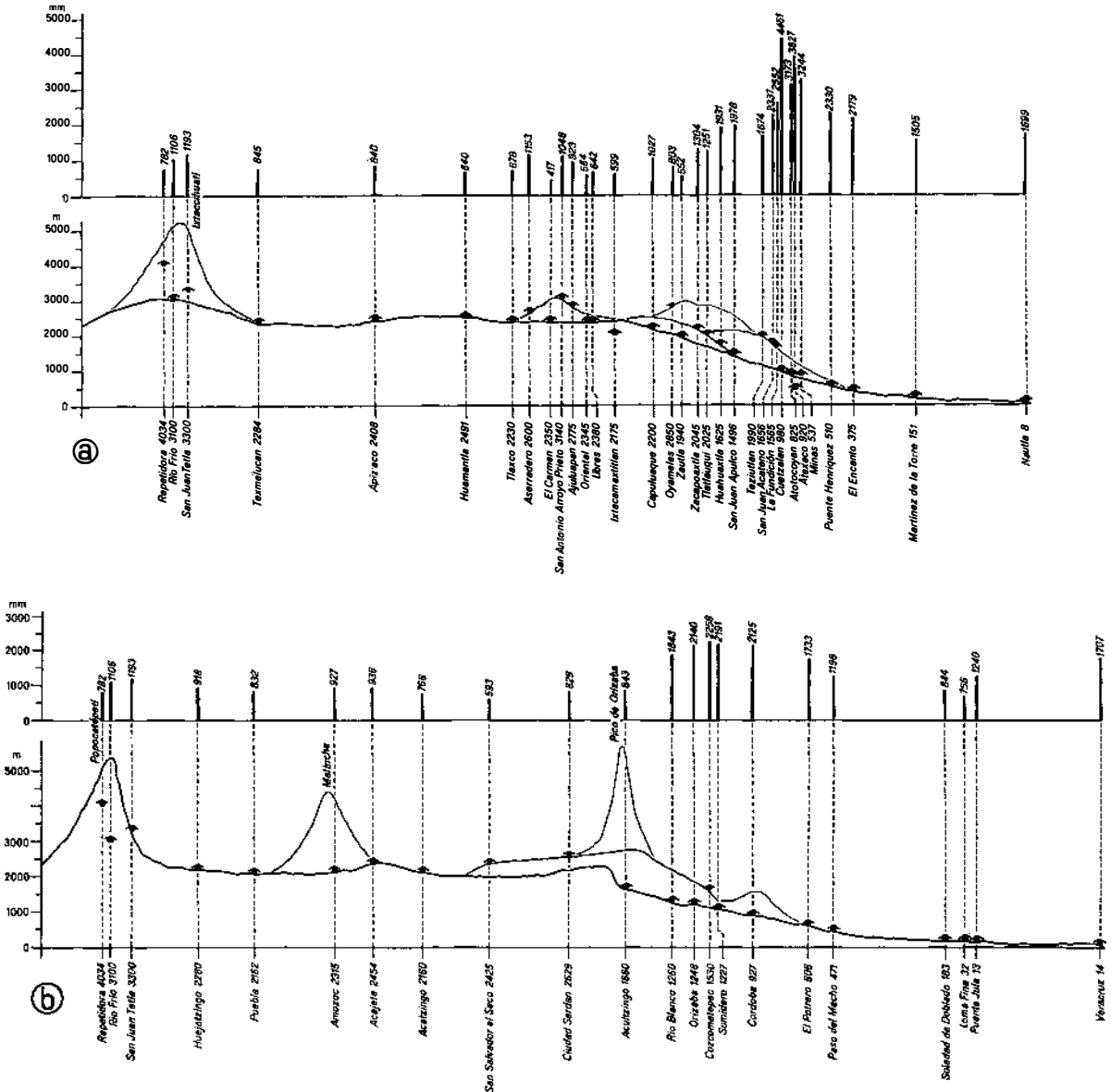


Abb. 16a: Jährliche Niederschlagssummen entlang des Profils von Nautla zur Sierra Nevada
Mean annual precipitation along a cross-section between Nautla and the Sierra Nevada

16b: Jährliche Niederschlagssummen entlang des Profils von Veracruz zur Sierra Nevada
Mean annual precipitation along a cross-section between Veracruz and the Sierra Nevada

nicht völlig immergrün, doch sind der Höhenwuchs der Bäume (30 bis 50 m) und der Stockwerkbau deutlich ausgeprägt. Der Höhenwuchs bleibt über das ganze Intervall etwa gleich, obwohl die Vegetationsstufe der tierra caliente in die der tierra templada übergeht und somit floristisch anders zusammengesetzt ist. Beide Waldstufen sind im Bereich der maximalen Niederschläge gleichermaßen lianen- und epiphytenreich. Es treten viele trichterförmige, großblättrige Tillandsien und Orchideen in Erscheinung. Moose und Flechten verfilzen den Wald. Drei Baumfarnarten

(s. o.) wachsen in der Höhenstufe zwischen 800 und ca. 2100 m. Sie sind gleichermaßen sowohl in der Stufe maximaler Niederschläge als auch in der Nebelzone des unteren Kondensationsniveaus verbreitet. Die auftretenden Fröste setzen ihnen jedoch nach oben hin eine Grenze, da sie zwar nicht absolut, aber doch relativ frostempfindlich sind.

Da die Stufe maximaler Niederschläge und die höchster Nebelhäufigkeit keineswegs identisch sind, zeigen die Lebensformen der typischen Nebelwälder weitere zusätzliche Adaptionsformen an die nassenden

und weniger nässenden Nebel sowie an die feinen Nieselregen. Der auffallendste Nebelrepräsentant ist *Pinus patula*. Mit ihren hängenden Nadeln kann sie auch nicht voll nässende Nebel durch „Auskämmen“ nutzen. Das Wasser sammelt sich an den Spitzen der Nadeln und fällt dann in großen Tropfen zu Boden. Sie findet sich im gesamten Nebelintervall, zum Teil bereits ab 1300 m. Andere Kiefern wie *Pinus ayacahuite*, *Pinus pseudostrobus* lieben ebenso wie *Abies religiosa* hohe Luftfeuchtigkeit und bilden im Nebelniveau breite pyramidale Kronen aus. Sie meiden das strahlungsreiche Klima der Hochflächen. Unter den Eichen herrschen in der maximalen Regenstufe solche vor, die derbe Blätter besitzen wie *Quercus crassifolia*, die meisten sind darüber hinaus immergrün. Im Nebelwald – vor allem an seiner oberen Grenze – ist *Quercus laurina* ein typischer Vertreter. Es bleibt allerdings merkwürdig und ist nicht ohne weiteres zu erklären, daß auch noch am oberen Rand der Nebelwaldstufe immergrüne Eichen auftreten, obwohl diese Höhen doch für die Eichen auch eine Kältengrenze darstellen, an der normalerweise im borealen Bereich Nordamerikas oder Europas vorwiegend laubwerfende Eichen zu finden sind. Die Eichen vor allem tragen reichen Flechten- und Moosbewuchs, darunter auch die Bartflechte *Usnea barbata*. Die Nebel- und die Nebel-Nadelwälder sind zugleich durch einen dichten strauchigen und krautigen Unterwuchs gekennzeichnet, der bis in Höhen um 2700 m sehr stark von tropisch-montanen Arten durchsetzt ist.

Auch in der Stufe der häufigsten Nebel wechselt die thermische Höhenstufe der Vegetation vom Eichen-Liquidambar-Wald in Kiefern-Eichen-Wälder und von Nebel-Laub-Wäldern in Nebel-Nadel-Wälder, womit zwar der physiognomisch-floristische Typ erheblich verändert wird, viele Lebensformen aber in einem Höhenintervall von 1800 m, nämlich zwischen 1200 und 3000 m, erhalten bleiben.

Auf den Hochflächen, wo nur gelegentlich – besonders im Winter – an bestimmten exponierten Erhebungen einzelne Nebel vorkommen, sonst aber die Trockenzeit recht exzessiv ist, finden sich mit Saugschuppen behaftete Tillandsien als Epiphyten. Sie sind in der Lage, längere Trockenzeiten zu überstehen, lieben aber kurzfristig bei entsprechenden Wetterlagen heranbrandende Nebel. Hier wird in der Lebensform *Usnea barbata* von *Tillandsia usneoides* ersetzt (vgl. ERN 1973 u. KLINK i. d. H.).

Trockengebiete und Trockentäler

Im Untersuchungsgebiet befinden sich einige charakteristische Trockengebiete, darunter das schon erwähnte im Küstenhinterland zwischen Veracruz und Córdoba. Auffälliger dagegen sind einige Talzüge, die – obwohl sie der vorherrschenden Windrichtung ausgesetzt sind – einen sehr trockenen Talgrund, einen mesophytischen unteren Talhang und sehr feuchte Bergflanken besitzen. Die Niederschlagsdiagramme

weisen aus, daß sie im Sommer verminderten Niederschlag empfangen und in den Monaten Oktober bis März von den Kaltluftmassen hygrisch weniger beeinflusst werden als die Hänge und das Küstentiefland vor der Nordostabdachung. Ein Blick auf die topographische Karte zeigt rasch, daß das große Trockengebiet zwischen Veracruz und Córdoba seine Existenz offenbar vorwiegend einer Lee-Absinkbewegung der Nord- und Nordostströmung hinter der fast bis zur Küste vorspringenden Gebirgsnase der „Sierra de Chiconquiaco“ verdankt. Zugleich ist aber die Trockenheit, wie eine genauere Analyse zeigt, das Ergebnis eines relativ großräumig wirkenden Ausgleichswindsystems zwischen den Küstenzonen um Veracruz und den Hochflächen westlich des Pico de Orizaba, die sich bis gegen Puebla hin erstrecken. Ein ähnliches Ausgleichswindsystem ist auf der Nordostflanke aber in geringerem und ökologisch nicht so wirksamem Maße ausgebildet. Diesem großräumigen Ausgleichswindsystem über mehrere hundert Kilometer gesellt sich ein Land-See-Windphänomen unmittelbar an der Küste bei Veracruz zu und ebenso ein Berg-Tal-Windphänomen im Trockental von Acultzingo (Abb. 17a + b)¹). Der im Winter mit großer Beständigkeit wehende NE-Passat verstärkt diese Ausgleichsströmung bei Tage sehr stark, da er in die gleiche Richtung weht. Bei Hebung der Luftmassen an den Hängen entsteht in den Nachmittagsstunden am Ostabfall bei Orizaba eine dichte Nebeldecke. Die Untergrenze liegt scharf bei 1800 m. Im Acultzingo-Tal weht dann ein Talaufwind. Die Abwinde bei Nacht erwärmen sich über der Küstenniederung adiabatisch sehr stark und halten den nächtlichen Temperaturwert über der Ebene des Trockengebietes um Soledad de Doblado und Rinconada recht hoch. Das Acultzingo-Engtal, unmittelbar vor der Gebirgsbarriere gelegen (Abb. 17b), durchströmen sie zu gleicher Zeit als Bergwind. Da sie in den frühen Morgenstunden nach nächtlicher Abkühlung auf den Hochflächen meist Kaltluft mit sich führen, die sich vor einigen Talschwellen und an künstlichen Hindernissen im Acultzingo-Tal in 1500 bis 1200 m als Kaltluftseen staut, verursachen sie dort Bodenfröste noch bis in Höhen um ca. 1200 m.

Zwischen der nachts von West nach Ost gerichteten Ausgleichsströmung und der synoptischen Passatströmung, die von Ost nach West landeinwärts gerichtet ist, entsteht unmittelbar an der Küste häufig ein Feld breiter Konfluenz, die dort Niederschläge auslösen kann. Die maximalen Häufigkeiten täglicher Regen werden in Veracruz tatsächlich zwischen 2 und 6 Uhr nachts festgestellt (KLAUS 1972).

Das Ausgleichswindsystem ist vorwiegend in den Wintermonaten ausgebildet. Es kommt aber auch im

¹) Im Tal von Acultzingo wurden eine Reihe von Messfahrten durchgeführt, deren Ergebnisse an anderer Stelle publiziert werden.

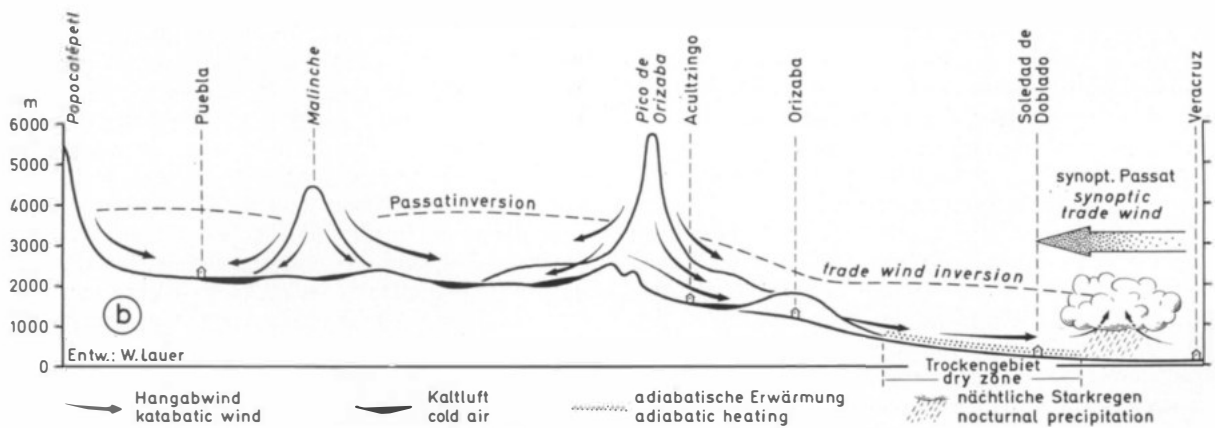
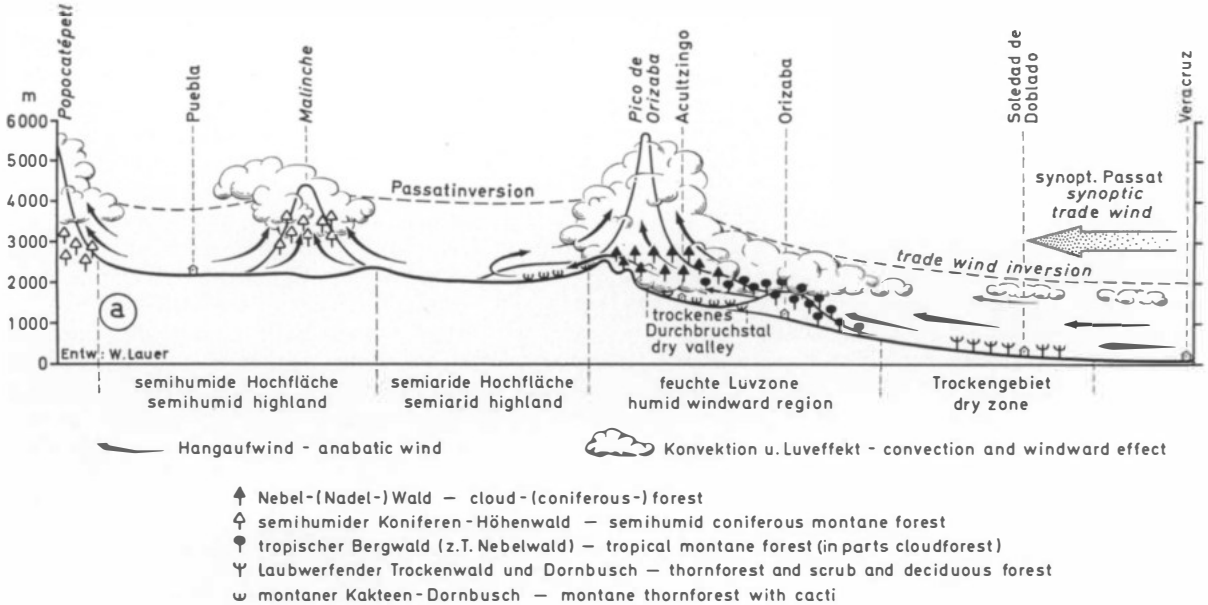


Abb. 17: Lokal-Zirkulation während der Trockenzeit zwischen dem Hochland von Puebla und der Küstenniederung auf der Profillinie Popocatepetl-Veracruz
 Local circulation in the dry season between the Meseta of Puebla and the coastal plains near Veracruz
 a) bei Tag (during the day); b) bei Nacht (during the night)

Sommer vor in den Tagen steifen Passats, vor allen Dingen während der kleinen Trockenzeit im Juli und August, mithin fast an allen Tagen, in denen eine deutliche und relativ niedrigliegende Passat-inversion ausgebildet ist, die nicht durch konvektive Vorgänge aufgelöst wird.

Die ökologische Wirkung dieses Ausgleichswindphänomens, innerhalb dessen hohe Windgeschwindigkeiten erreicht werden, drückt sich in einer Ausbildung trockener, mesophytischer bis xeromorpher Vegetation aus.

Von besonderer Deutlichkeit ist die Wirkung im Trockental von Acultzingo. In seinem Talgrund ist eine xeromorphe Dornstrauch-Sukkulantenformation ausgebildet mit *Acacia cymbispina*, *Acacia farnesiana*,

Prosopis juliflora, *Cercidium sp.*, *Mimosa biuncifera*, vergesellschaftet mit drei Kakteenarten: *Lemaireocereus stellatus*, *Lemaireocereus weberi* und *Escontria sp.*

Oberhalb der sehr markant fixierten mittleren Nebelzone bei ca. 1800 m setzt abrupt ein feuchter Eichen-Nebelwald ein, zu dem sich bei ca. 2400 m Kiefern hinzugesellen. Die Eichen sind üppig besetzt mit Epiphyten (Moosen, Flechten, Tillandsien etc.).

Klimaänderungen und Vegetationswandel seit der Eiszeit

Die Vegetationsverhältnisse im Untersuchungsgebiet entsprechen randtropischen Bedingungen. Das generelle Anordnungsmuster paßt zwar noch in die Vorstellung der tropischen Klimagürtel und -stufen hin-

ein, viele Einzelfaktoren machen aber die ökologische Grenzsituation deutlich. Das winterliche Wettergeschehen wird zum großen Teil von der ektropischen Westwindzone beeinflusst. Daraus resultieren thermische Minimumfaktoren, an die sich die Vegetation zum großen Teil angepaßt hat. Boreale und neotropische bzw. tropisch-montane Florenelemente sind daher besonders von den mittleren Höhenstufen an in charakteristischer Weise gemischt und ihr ökologisches Formenspektrum von der hygrischen und thermischen Vielfalt dieses randtropischen Raumes stark beeinflusst.

Diese floristischen Mischbestände und ihre ökologischen Merkmale stehen in enger Verknüpfung zum randtropischen Klima des Gebietes, so daß man durchaus von einem gewissen Gleichgewichtszustand, von Klimaxverhältnissen der Vegetation sprechen kann. Da Klima und Vegetation beide unter Interferenzbedingungen stehen, wird man freilich nur von einem labilen Gleichgewicht sprechen können, da angenommen werden muß, daß das Klima in der Vergangenheit häufig Schwankungen unterlegen war und der gegenwärtige Zustand nur als eine „Momentaufnahme“ gelten kann.

Vor allem dürften die Klimaänderungen seit der letzten Eiszeit von ausschlaggebender Bedeutung für den Wandel der Vegetation gewesen sein. Durch Untersuchungen mehrerer Autoren (SEARS u. a. 1955; LORENZO 1958, 1967, 1968; WHITE 1962; HEINE 1973) wissen wir, daß die Hochglazialstadien des Jungpleistozäns in Mexiko durch kaltes und trockenes Klima gekennzeichnet waren. Aufgrund der geringen Niederschläge konnten an den Hängen der Vulkane die Gletscher nicht in größerem Maße vorrücken. Erst die anschließende Erwärmung ließ es zirkulationsdynamisch zu (KLAUS 1973), daß die Niederschläge anstiegen und Gletschervorstöße möglich wurden. HEINE (1973) konnte die M I-Moräne an der Malinche in die Zeit um ca. 33 000 v. h. (\pm 2000 Jahre) an das Ende der nordamerikanischen Bull-Lake-Vergletscherung und die M II-Moräne in die Zeit um 12 100 v. h. (nach ^{14}C datiert) an das Ende der letzten Vereisungsphase (Pindale-Vergletscherung), die zwischen 21 000 und 13 000 v. h. angenommen wird, datieren bei Temperaturen, die um 7 bzw. 5 °C niedriger waren als heute.

Bei den Vergletscherungsphasen war die Waldgrenze um ca. 1200 bis 1400 m gegenüber heute abgesenkt. Sie dürfte in 2500 bis 2700 m gelegen haben. Die Binnenhochflächen trugen, wie das Pollenprofil von D. OHNGEMACH (1973) zeigt, eine recht einförmige Kiefernvegetation (*Pinus hartwegii?*). Die Ostabdachung zum karibischen Meer war bis zur Küstenniederung frostgefährdet, wie sich aus den Temperaturgradienten und den Tagesschwankungen im Winter extrapolieren läßt. Unter diesen Umständen dürfte daher die untere Vegetationsstufe fast nur von borealen Baumarten gebildet worden sein. Ob möglicherweise *Quercus oleoides* auf Extrem-Standorten der

Küstenniederungen als ein heute angepaßtes eiszeitliches Relikt gedeutet werden darf, läßt sich nur vermuten.

Während die kalt-trockenen Hochglaziale wegen geringen Schnees und Niederschlags keine Seenbildung in den abflußlosen Becken von Apam und Oriental zuließen, wird die jeweilige Gletschervorrückphase bei höheren Niederschlägen eine Seenperiode auf der Hochfläche eingeleitet haben.

In den wärmeren Perioden, die durch intensive Bodenhorizonte gut markiert sind und um 26 000 bis 21 000 v. h. (fBo 1) und ca. um 11 000 (fBo 2, nach HEINE 1973) datiert sind, hat es auf der Hochfläche eine reichhaltige Flora gegeben (OHNGEMACH 1973), in der sowohl Nadelhölzer als auch boreale Laubholzarten reichlich vertreten waren. Vorherrschend waren allerdings Kiefern (zwischen 70 und 80%) und Eichen (10 bis 20%), denen sich in geringeren Prozentsätzen *Abies*, *Juniperus*, *Cupressus* und die Laubhölzer *Alnus*, *Carpinus*, *Ostrya*, *Carya*, *Juglans*, *Ulmus*, *Fraxinus*, *Liquidambar*, *Fagus* und *Tilia* hinzugesellten.

Die zeitweilige Zunahme von *Quercus* auf Kosten von *Pinus* dürfte die wärmeren, die Zunahme von *Pinus* auf Kosten von *Quercus* sowie das zeitweise Auftreten von *Picea* die kühleren Phasen anzeigen. Wichtig ist aber die Tatsache, daß während dieser Zeit ein relativ vielfältiger Mischwald, der heute nur an der Ostabdachung in Höhen bis ca. 2000 m vorkommt, große Teile der Hochfläche besetzt hatte. Ob dies allein auf die Wärme oder auch auf höhere Niederschläge zurückzuführen war, mag dahingestellt bleiben. In den tieferen Höhenstufen am Hang konnten in diesen Perioden die neotropischen Florenelemente – mesophytische wie hygrophytische – einwandern und die tropisch-montanen Baumarten Höhen bis mindestens 2500 m erobern.

Das ausgehende Glazial wurde aber erneut durch zwei Gletschervorstöße zwischen 10 000 und 9000 v. h. eingeleitet: M III (1), M III (2) (nach HEINE 1973), die mit einer Temperaturerniedrigung von ca. 4° und einer Schnee- bzw. Waldgrenzdepression von ca. 600 bis 800 m einhergingen. Diese Kaltphase mit relativ hohen Niederschlägen dürfte die neotropische Vegetation im Tiefland zwar nicht völlig verdrängt, jedoch die borealen Arten erneut begünstigt haben. Vom Hochland verschwanden die Laubholzarten außer wenigen (*Quercus* und *Alnus*) fast völlig. Die postglaziale Wärmezeit ab 9000 v. h. – wieder charakterisiert durch einen auffälligen Bodenhorizont (fBo 3, nach HEINE) – leitete dann zu Vegetationsverhältnissen über, wie sie etwa heute bestehen. Entscheidend ist, daß seit dieser Zeit *Picea* offenbar vollends aus dem Bereich des Untersuchungsgebietes verschwunden ist. Hingegen waren zunächst noch *Fagus* und *Liquidambar* in den Kiefern-Eichen-Wäldern der Hochebenen und Fußflächen der Vulkane vertreten, wie dies aus einem Pollenbefund am Westhang der Malinche in ca. 2900 m (OHNGEMACH 1973) nachge-

wiesen werden konnte. Offenbar reichten auch bei diesem Optimum des nacheiszeitlichen Klimas mehrere boreale und frostempfindliche tropisch-montane Arten über den Gebirgsrand hinüber (z. B. *Fagus*, *Liquidambar*, *Clethra* und *Oreopanax*), Relikte (z. B. *Oreopanax*) dieses artenreicheren Kiefern-Eichen-Waldes fand H. ERN (1972) in einer klimagünstigen „Nische“ bei 2800 m an der Westseite des Popocatepetl (RZEDOWSKI 1970). Kürzere, feucht-kühle Epochen, die um die Zeitenwende und im 19. Jahrhundert durch kürzere Gletschervorstöße markiert sind (M IV und M V, nach HEINE) haben die Schneegrenze und die Waldgrenze durch eine schwache Temperaturänderung von 2 bzw. 1° nochmals um 300 bis 500 m abgesenkt und die wärmeliebenderen Arten des Eichen-Mischwaldes von den Vulkanhängen und den Hochflächen ganz verdrängt, darunter *Fagus* und *Liquidambar*.

Damit pendelten sich Grenzen ein, wie sie heute bestehen. Ob besondere Kampf- und Pionierzonen ausgebildet sind, läßt sich z. Z. nicht entscheiden, da unser Gesamtbild der nacheiszeitlichen Vegetationsentwicklung wegen der noch fehlenden, umfassenden räumlichen Kenntnis noch recht hypothetisch ist. Da die Klimaschwankungen der letzten 8000 Jahre aber vergleichsweise gering, wenn auch deutlich markiert waren, konnte sich die Vegetation mit all ihren differenzierten ökologischen Merkmalen und der verschiedenen floristischen Herkunft in diesem Zeitraum relativ gut an das Klima anpassen, freilich an ein Klima, das selbst die Züge einer marginalen Situation trägt, in dem tropische und außertropische Einflüsse wirksam sind.

Literatur

- BEAMAN, J. H.: The Timberline of Iztaccíhuatl and Popocatepetl, Mexico. Ecology, Vol. 43, No. 3, 1962, p. 377–385.
- : A Preliminary Ecological Study of the Alpine Flora of Popocatepetl and Iztaccíhuatl. Boletín de la Sociedad Botánica de México. Núm. 29, 1965, p. 63–75.
- Comisión de Estudios del Territorio Nacional y Planeación: Carta de climas 1:500 000. Elaborada bajo la dirección de E. García en el Instituto de Geografía de la UNAM, México 1970.
- ERN, H.: Estudios de la vegetación en la parte oriental del México Central. Comunicaciones 6, Puebla 1972; p. 1–6.
- : Estudios de la vegetación en el oriente de México Central, especialmente de los bosques montañosos en la zona del Proyecto Puebla-Tlaxcala. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables 1973 (im Druck).
- FLORES MATA, G. u. vier weitere Autoren: Mapa (1:2 000 000) y descripción de los tipos de vegetación de la República Mexicana. Subsecretaría de Planeación. Dirección de Agrología. México 1971.
- FUENTES AGUILAR, L.: Análisis climático del Estado de Puebla. Tesis de la UNAM, Colegio de Geografía, México 1969.
- GARCÍA, E.: Distribución de la precipitación en la República Mexicana. Publ. Inst. de Geogr. Univers. Nac. Auton. México. Vol. 1, 1965, p. 173–191.
- : Los climas del estado de Veracruz. Anales Inst. Biol. Univers. Nac. Auton. México 41, Serie Botánica (1) 1970, p. 3–42.
- : Correlación entre vegetación y clima según dos sistemas climáticos. 2. Mesa Redonda sobre Recursos Naturales. Publicación No. 329 del Instituto Panamericano de Geografía e Historia. Rio de Janeiro 1972, p. 103–135.
- GOMEZ POMPA, A.: La vegetación de México. Bol. de la Soc. Bot. de Méx. 29, 1965, p. 76–120.
- : Estudios botánicos en la región de Misantla, Veracruz. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables. México, D. F. 1966.
- HASTENRATH, S.: Über den Einfluß der Massenerhebung auf den Verlauf der Klima- und Vegetationsstufen in Mittelamerika und im südlichen Mexiko. Geografiska Annaler, XLV/1963, S. 76–83.
- HEINE, K.: Variaciones más importantes del clima durante los últimos 40.000 años en México. Comunicaciones 7, Puebla (Mexico) 1973, p. 51–58.
- HILL, J. B.: Temperature Variabilities and Synoptic Cold Fronts in the Winter Climate of Mexico. Climatological Research Series No. 4, McGill University, Dept. of Geography, Montreal 1969.
- Instituto Nacional de Investigaciones forestales: Datos climáticos de las estaciones meteorológicas de Coyoacan, San Juan Tetla y Barranca de Cupatitzio 1968, 1969, 1970. Boletín divulgativo 16/1969 und 28/1970.
- JAUREGUI O., E.: Mesoclima de la región Puebla-Tlaxcala. UNAM, Instituto de Geografía, México 1968.
- : Variaciones de largo período de los tipos de tiempo superficie en México (Manuskript im Druck) 1972.
- KLAUS, D.: Niederschlagsgenese und Niederschlagsverteilung im Hochbecken von Puebla-Tlaxcala. Diss. Bonn 1972 (Bonner Geogr. Abh. 1973 im Druck).
- : Zusammenhänge zwischen Wetterlagenhäufigkeit und Niederschlagsverteilung im zentralmexikanischen Hochland, dargestellt am Beispiel des Hochbeckens von Puebla. Erdkunde XXV, 1971, S. 81–90.
- : Las fluctuaciones del clima en el valle de Puebla-Tlaxcala. Comunicaciones 7, Puebla (México) 1973, p. 59–62.
- KLINK, H.-J.: La división de la vegetación natural en la región Puebla-Tlaxcala. Comunicaciones 7, Puebla México) 1973, p. 25–30.
- LAUER, W.: Klimatische und pflanzengeographische Grundzüge Zentralamerikas. Erdkunde XIII, 1959, S. 344–354.
- : Problemas de la división fitogeográfica en América Central. Geo-Ecology of the Mountainous Regions of the Tropical Americas. Colloquium Geographicum 9, Bonn 1968, S. 139–156.
- : Problemas climato-ecológicos de la vegetación de la región montañosa oriental mexicana. Comunicaciones 7, Puebla (México), 1973, p. 37–46.
- : The Altitudinal Belts of the Vegetation in the Central Mexican Highland and their Climatic Conditions. Arctic and Alpine Research, Boulder (Colorado) 1973 (im Druck).
- LEOPOLD, A. S.: Vegetation Zones of Mexico. Ecology 31, 1950, p. 507–518.
- LORENZO, J. L.: Una hipótesis paleoclimática para la Cuen-

- ca de México – Miscellanea Paul Rivet, México 1958, p. 579–584.
- : La etapa lítica en México. INAH. México 1967.
- : Condiciones periglaciales de las altas montañas de México. Inst. Nac. de Antropol. e Historia, México 1969.
- : Minor periglacial phenomena among the high volcanoes of Mexico. – The periglacial Environment: past and present, ed. Troy L. Péwé, Arctic Institute of North America, McGill-Queen's Univ. Press, Montreal 1969, P. 161–175.
- MAULL, O.: Die Bestimmung der Tropen am Beispiel Amerikas. Festschr. z. Hundertjahrfeier d. Ver. f. Geogr. u. Statistik in Frankfurt a. M. 1936, S. 365–398.
- MIRANDA, F. u. SHARP, A. J.: Characteristics of the Vegetation in Certain Temperature Regions of Eastern Mexico. Ecology Vol. 31, 1950, p. 313–333.
- MIRANDA, F. u. HERNANDEZ, E.: Los tipos de vegetación de México y su clasificación. Boletín de la Sociedad Botánica de México, 28, 1963.
- MOSEÑO, P.: La precipitación y las configuraciones del flujo aéreo en la República Mexicana. Ing. Hidr. México, 1959, p. 1–12.
- u. GARCÍA, E.: The Climates of Mexico. World Survey of Climatology, Vol. XII, Amsterdam 1973 (im Druck).
- OHNGEMACH, D.: Análisis polínico de los sedimentos del Pleistoceno Reciente y del Holoceno en la región Puebla-Tlaxcala. Com. Proyecto Puebla-Tlaxcala, 1973, 47–49.
- PAFFEN, KH.: Das Verhältnis der tages- zur jahreszeitlichen Temperaturschwankung. Erdkunde 21, Bonn 1967, S. 94–111.
- RZEDOWSKI, J.: Relaciones geográficas y posibles orígenes de la flora de México. Bol. Soc. Botánica de México 29, 1965, p. 121–177.
- u. McVAUGH, R.: La vegetación de la Nueva Galicia. Contrib. Univ. Michigan Herb. 1966, p. 1–123.
- RZEDOWSKI, J.: Vegetación del Estado de San Luis Potosí. Act. Cient. Potosí, México 5 (1–2), 1965, p. 1–291.
- : Nota sobre el bosque mesófilo de montaña en el Valle de México. Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, México, 18, 1970, p. 91–106.
- SEARS, P. B. u. CLISBY, K. H.: Palynology in Southern North America. Part IV: Pleistocene climate in Mexico. Geol. Soc. Amer. Bull. 66, Denver 1955, p. 321–330.
- Secretaría de Recursos hidráulicos. Datos de las regiones Golfo Centro y Valle de Oriente, Libres y el Seco, Boletín hidrológico 20, 1963 (mit Klimadaten bis 1961).
- SOSA, A. H.: Tlaxcala. Bosquejo Agro-forestal. Rev. Méxicco Forestal. 36,2. México 1962.
- TROLL, C.: Thermische Klimatypen der Erde. Pet. Geogr. Mitt. 89, 1943, S. 81–89.
- : Die Lokalwinde der Tropen und ihr Einfluß auf Niederschlag und Vegetation. Bonner Geogr. Abh. H. 9, 1952, p. 124–182.
- : Forschungen in Zentral-Mexiko 1954. Die Stellung des Landes im dreidimensionalen Landschaftsaufbau der Erde. Tagungsber. u. Wiss. Abh. Dt. Geogr. Tag Hamburg 1955, p. 191–213.
- : Das Baumfarnklima und die Verbreitung der Baumfarne auf der Erde. Tübinger Geogr. Studien, H. 34, 1970. Beiträge zur Geographie der Tropen und Subtropen. Festschr. f. Herbert Wilhelmy. p. 179–189.
- VIVÓ, J. A. u. GOMEZ, J. C.: Climatología de México. México 1946.
- VIVÓ, J. A.: Los límites biogeográficos en América y la zona cultural mesoamericana. Revista Geográfica 3, p. 109–131.
- WEISCHET, W.: Klimatologische Regeln zur Vertikalverteilung der Niederschläge in Tropengebirgen. Die Erde 1969, S. 287–306.
- u. HAVLIK, D.: La diversa distribución vertical de la precipitación pluvial en las zonas tropicales y extra tropicales; sus razones y efectos geográficos. I. G. U. Conferencia Regional Latinoamericana, Tomo III, México 1966, p. 457–478.
- WHITE, S. E.: El Iztaccíhuatl. Acontecimientos volcánicos y geomorfológicos en el lado oeste durante el pleistoceno superior. INAH. Serie Investigaciones, 6, México 1962.
- WISSMANN, H. v.: Pflanzenklimatische Grenzen der warmen Tropen. Erdkunde 2/1948, p. 81–92.

DIE NATÜRLICHE VEGETATION UND IHRE RÄUMLICHE ORDNUNG IM PUEBLA-TLAXCALA-GEBIET (MEXIKO)

Mit 8 Photos und 2 Beilagen (XI, XIa)

HANS-JÜRGEN KLINK

Prof. Dr. Willi Czajka zum 75. Geburtstag gewidmet*)

Summary: Natural vegetation and its spatial distribution in the Puebla-Tlaxcala area of Mexico

This paper, together with the accompanying map and the vegetation profile, provides a view of the three-dimensional spatial distribution of vegetation and the climatic and edaphic factors which determine it in the Puebla-Tlaxcala area of Mexico. Particular attention is paid to tree vegetation. To the south, the transition to the xerophytic warm tropical vegetation of the Balsas depression is traced. An introductory section gives a review of the altitudinal stages

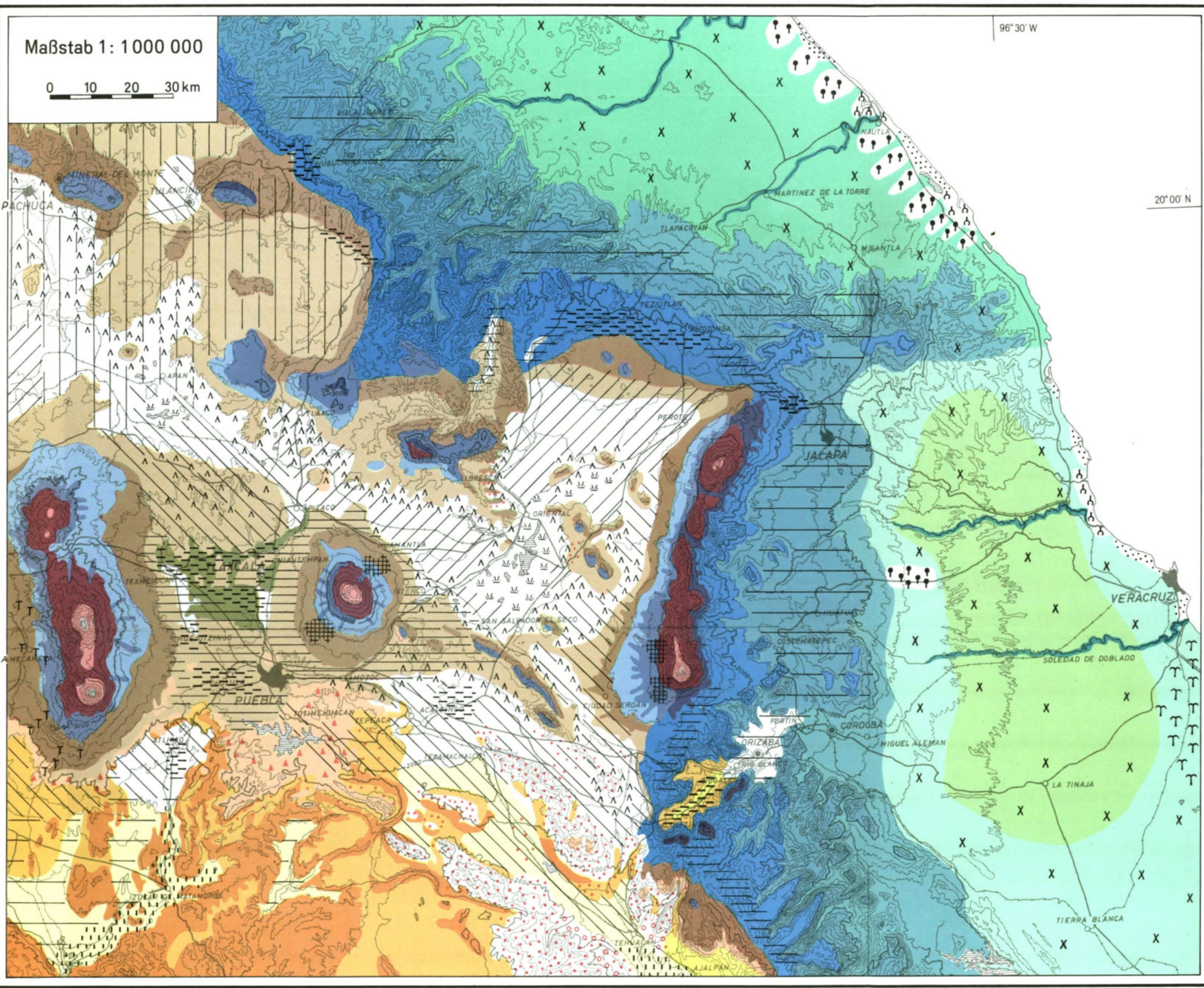
of vegetation on the humid eastern slopes of the Central Mexican Highlands from about 1,000 metres downward.

Mexico is distinguished by a very species-rich vegetation.

*) WILLI CZAJKA hat ähnliche Fragen der vegetationsräumlichen Gliederung im Zusammenhang mit dem Wechsel der geökologischen Bedingungen in seiner Arbeit „Die naturräumliche Gliederung Nordwest-Argentiniens“ behandelt. Er veröffentlichte sie zusammen mit F. VERVOORST in Pet. Geogr. Mitt. 100, 1956, S. 89–102.

W. Lauer u. H.-J. Klink: Vegetationsgebiete am Ostabfall der zentralmexikanischen Meseta

Regional Types of Vegetation on the Eastern Slopes of the Central Mexican Meseta



- Tierra caliente (0 - 800m)**
- Tropischer Regenwald, halbimmergrün (0-400m) mit *Brosimum alicastrum* als Leitart
tropical rainforest, semi-evergreen, with *Brosimum alicastrum* as dominant species
 - Tropischer Regenwald (400-800m) lauraceenreich mit *Quercus corrugata* und *Ulmus mexicana*
tropical rainforest, abundant with *Lauraceae*
 - Regengrüner Feuchtwald bzw. regengrüne Savanne
tropical semihumid deciduous forest and savanna
 - Regengrüner Trockenwald bis Dornsavanne, reich an Leguminosen
tropical semiarid deciduous forest and savanna
 - Warmtropische Galeriewälder
tropical gallery forests
 - Quercus oleoides*-Wald
forest of *Quercus oleoides*
 - Palmares (*Scheelea liebmanni*, *Sabal mexicana*)
palmares
 - Mangrove
mangrove
 - Strand- und Dünenvegetation
coastal vegetation on beaches and dunes
- Tierra templada (800-1800m)**
- Tropischer Bergwald, feucht-mesophytisch, mit Eichen und *Liquidambar* (*Quercus div. spec.*, *Liquidambar styraciflua*, *Pinus strobus chiapensis* und trop. Bergwaldspezies wie *Weinmannia*)
subhumid tropical montane forest
 - Tropischer Berg-Fallaubwald, semiarid (*Bursera div. spec.*, *Ceiba parvifolia*, div. Anacardiaceen und holzige Leguminosen) z.T. mit hochwüchsigen Kakteen
tropical montane deciduous forest, semiarid
 - Berg-Dornsavanne (montaner Matorral), semiarid, bedornete Leguminosen, Schopfbblattbäume
montane thorn shrub (montane matorral), semiarid
 - Dorn-Sukkulentsavanne, vorwiegend Kakteen
thornshrub with cacti
 - Mezquital
mezquital
 - Schopfbblattbäume der Gattungen *Yucca* und *Beaucarnea gracilis* mit sukkulenten Rosettenpflanzen und Dorngehölzen
monocotyledoneous rosette leaf trees and thorn shrub
- Tierra fria I (1800-2700m)**
- Eichen-Kiefern-Nebel-Bergwald (*Pinus patula*, *P. ayacahuite*, *P. tenuifolia*) mit immergrünen Eichen und tropischen Bergwaldspezies, epiphytenreich
montane oak-pine cloudforest, abundant with epiphyts
 - Artenreicher mesophytischer Bergwald
mesophytic mountain-forest with numerous species
 - Kiefern-Eichen-Mischwald, semihumid (*Pinus montezumae*, *P. teocote*, *P. pseudostrobus* im höheren Bereich und immergrüne Eichen)
pine-oak mixed forest, semihumid
 - Kiefern-Eichen-Mischwald, semiarid (*Pinus oaxacana*, *P. rudis*, *P. cembroides*, laubwerfende Eichen *Arbutus div. spec.*, *Juniperus deppeana*)
pine-oak mixed forest, semiarid
 - Eichen-Mischwald trockenerer Standorte (laubwerfend)
deciduous oak mixed forest
 - Auewald aus *Fraxinus*, *Salix* und *Alnus arguta*
riverine forest
 - Juniperus deppeana*
 - Juniperus flaccida*
 - Monokotyle Schopfbblattbäume der Gattungen *Yucca*, *Nolina* und *Dasyliirion*
monocotyledoneous rosette leaf trees
 - Baumfreie Halophytenvegetation
treeless halophytic vegetation
- Tierra fria II (2700-3200m)**
- Nadel-Nebel-Höhenwald (*Pinus patula*, *Abies religiosa*, *Quercus laurina*)
montane coniferous cloudforest
 - Kiefern-Tannen-Wald, subhumid (*Abies religiosa*, *Pinus pseudostrobus*, *P. ayacahuite*, *Quercus laurina*)
subhumid coniferous forest with pine and fir
 - Kiefern-Mischwald, semihumid (*Pinus pseudostrobus*, *P. montezumae*, *P. teocote*, *P. michoacana*) mit *Quercus laurina* und *Alnus firmifolia*
semihumid mixed pine forest
- Tierra helada (3200-4800m)**
- Hochgebirgs-Kiefernwald aus *Pinus hartwegii* (3200-4100m), im unteren Teil mit *Abies religiosa* und an der oberen Waldgrenze *Juniperus monticola*
upper montane pine forest of *Pinus hartwegii*
 - Hochgebirgs-Grasland (zacatonales), 4000-4800 m
upper montane grassland (zacatonales)
- Tierra nevada (> 4800m)**
- Periglazialstufe und ewiger Schnee
region with periglacial features and permanent snow
- Other symbols:**
- X X X X X: Großviehzucht in der tierra caliente, dazu punkthaft: im feuchteren Bereich Kakao, Bananen, Mango, Ananas, Agrumen und Vanille im trockeneren Bereich Papaya, Agrumen, im Küstenstreifen Kokospalmen
cattle-breeding in the tierra caliente with tropical fruit plantations

- Gerste, Pulque-Agaven
barley, pulque-agaves
- Gerste, Mais, Pulque-Agaven
barley, maize, pulque-agaves
- Mais, Gerste, etwas Weizen, Pulque-Agaven
maize, barley, some wheat, pulque-agaves
- Mais, Gemüse, Blumen und außertropisches Obst
maize, vegetables, flowers and fruit
- Mais, Bohnen
maize, beans
- Kartoffelanbau
potatoes
- Bewässerungsland mit Zuckerrohr
sugar-cane, based on irrigation
- Tropische Anbaufrüchte der tierra templada (Kaffee, Zuckerrohr, Bananen, Aguacate, Agrumen)
tropical farming in the tierra templada (coffee, sugar-cane, bananas, avocados, citrus fruits)