überreicht vom Verfasser

Klima und Mensch auf dem mexikanischen Hochland

Wilhelm Lauer, Bonn

mit 8 Figuren und 24 Abbildungen

Vortrag, gehalten anläßlich der GEFFRUB-Hauptversammlung
am 24. Juni 1978 im Hörsaal I der Universität Bonn

Herr Vorsitzender, meine sehr verehrten Damen, meine Herren!

Mit Mexiko assoziiert man meist das exotische Tropenland, das Touristenunternehmen anpreisen, großartige Bauten der indianischen und kolonialen Vergangenheit, imponierende Monumente einer lebendigen Gegenwart und auch die glorreiche Geschichte eines Volkes, das als erstes in Lateinamerika zu Beginn dieses Jahrhunderts durch eine einschneidende Revolution tiefgreifende wirtschaftliche, politische und soziale Umwälzungen erfahren hat.

Von alledem werde ich Ihnen nicht berichten und habe nur die Absicht, über naturwissenschaftliche Arbeiten zu sprechen, die wir im Rahmen eines deutsch-mexikanischen Gemeinschaftsprojektes im letzten Dezennium durchgeführt haben.

Das Mexiko-Projekt der Deutschen Forschungsgemeinschaft ist ein Schwerpunktprogramm mit vornehmlich geisteswissenschaftlicher Zielrichtung. Den Begründern, den Amerikanisten Franz Termer († 1968), Hamburg, und Paul Kirchhoff († 1972), Mexiko, schwebte die Idee vor Augen, in einem festumgrenzten Raum an historisch bedeutsamer Stätte einer alten Hochkultur die Geschichte des Menschen im Wechselspiel mit seiner Umwelt zu erforschen, ein ebenso reizvolles wie anspruchsvolles Ziel. Forschungsmethodologisch kann man das Projekt als historisch-raumwissenschaftlich bezeichnen. Aus wissenschaftlichen, aber auch aus forschungstechnischen und pragmatischen Gründen wählten wir 1962 zusammen mit mexikanischen Wissenschaftlern den Raum von Puebla-Tlaxcala (Fig. 1a). Er liegt in Zentralmexiko im Umkreis der Vulkane Popocatépetl, Ixtaccihuatl und Malinche, ein Raum früher Seßhaftwerdung des Menschen und kontinuierlicher Besiedlung, ein Kreuzungspunkt von Kulturströmen. In seinem Zentrum liegt die größte Pyramide der Erde, Cholula, dicht daneben Puebla, eine spanische Gründung, heute eine Großstadt von ca. 800 000 Einwohnern.

An der Unternehmung sind eine Reihe geisteswissenschaftlicher und naturwissenschaftlicher Fächer auf der Basis von Kooperation und Integration beteiligt. Die deutsch-mexikanische Zusammenarbeit ist

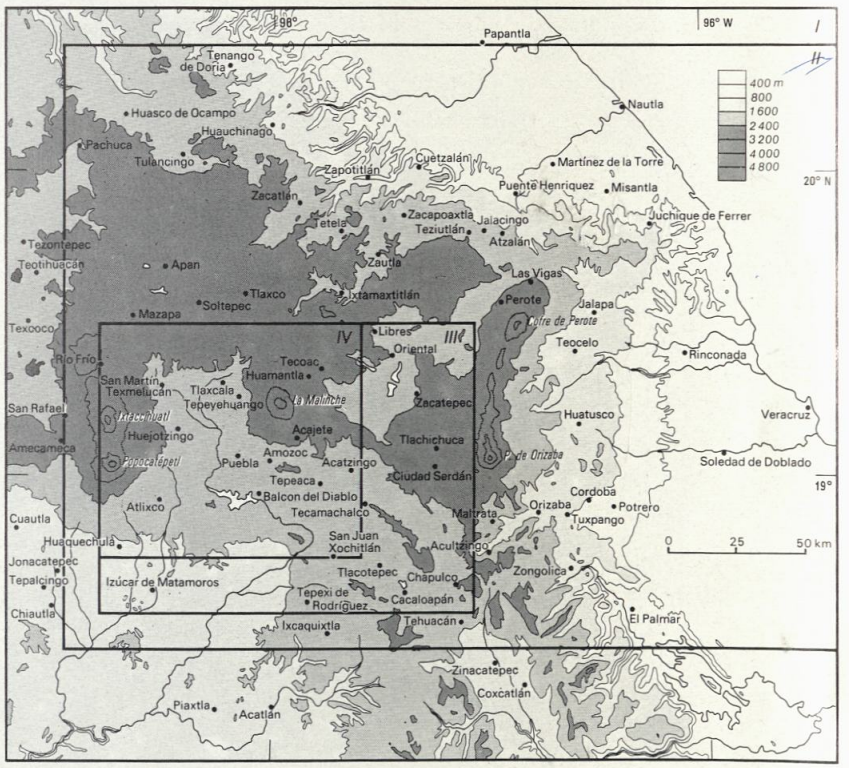
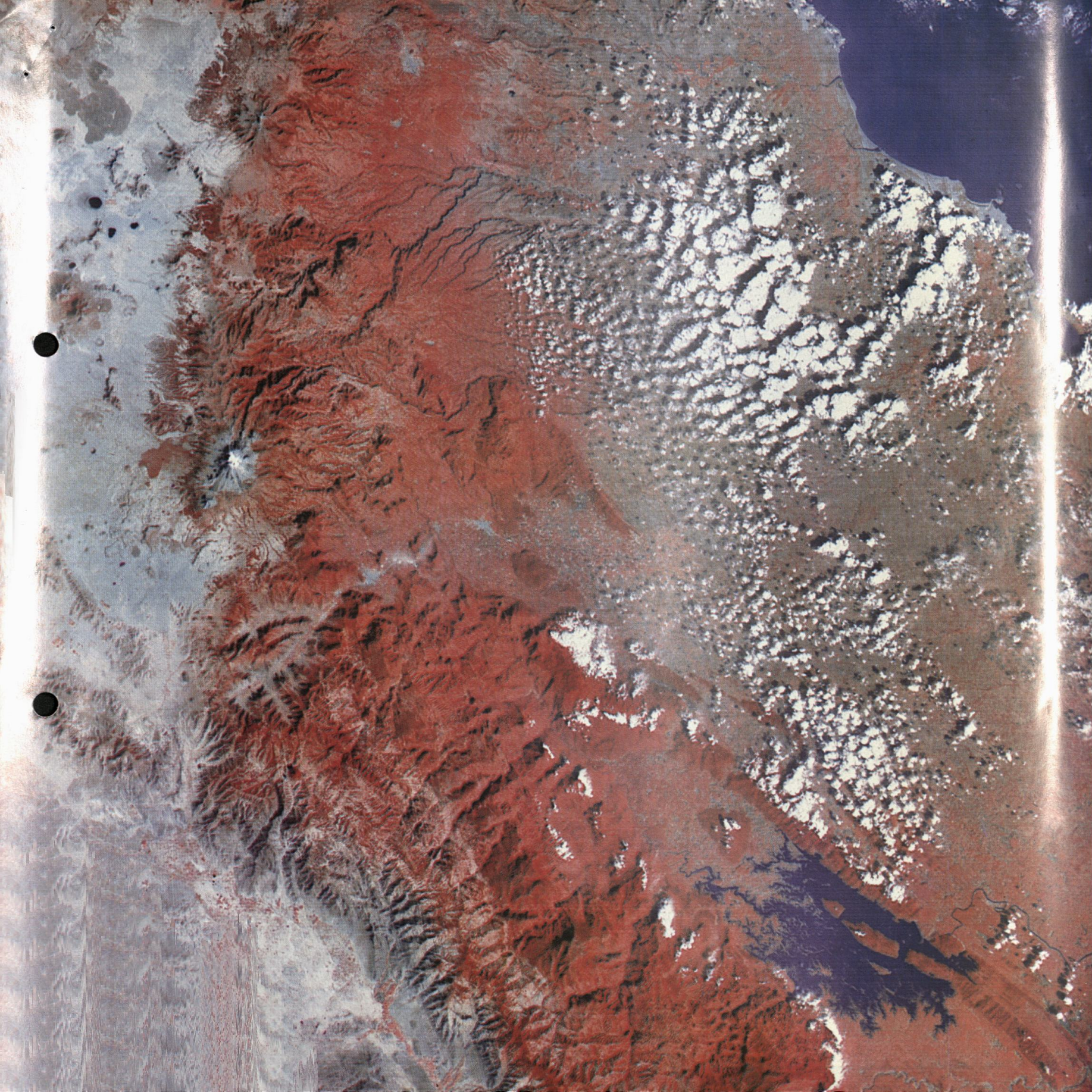


Fig. 1a: Arbeitsgebiete im Rahmen des Mexikoprojektes der Deutschen Forschungsgemeinschaft

ein wesentliches Anliegen der Projektspolitik und ist erwachsen aus dem Gesamtkonzept.

Das methodische Vorgehen hatte sich nicht im Sinne von Ausgrabungen an großen Pyramiden und kolonialzeitlichen Monumenten zu orientieren, sondern nach Möglichkeit dem allgemeinen kulturellen, wirtschaftlichen und sozialen Rhythmus der Bevölkerung außerhalb der guterhaltenen Kultstätten auf dem flachen Land nachzuspüren anhand von archäologischen, siedlungskundlichen, flurgeographischen und schriftlichen Archivalien. Tragende Wissen-

Bonner Universitätsblätter, GEFFRUB,
Bonn 1979, S. 53 - 74



schaften sind die Archäologie, die verschiedenen Zweige der Geschichtswissenschaft, besonders Wirtschafts- und Sozialgeschichte sowie Kunstgeschichte, die Ethnologie, historische Kulturlandschaftsforschung, Siedlungs-, Wirtschafts- und Sozialgeographie.

Die Geschichte des Menschen ist eng verknüpft mit der Geschichte der Natur. Besonders in den Anfängen menschlichen Daseins war sein Leben ganz in das Naturgeschehen eingebettet, ja abhängig von ihm. Aber auch der zivilisierte Mensch kann der Natur nicht entfliehen. Menschheitsgeschichte erforschen heißt auch, seine Umwelt, das Klima, das Pflanzenkleid, die Böden und die feste Erdrinde studieren.

Daher war von vornherein die erdwissenschaftliche Grundlagenforschung zur Mitarbeit aufgerufen, zunächst mehr im Sinne einer Hilfestellung bei der Lösung geisteswissenschaftlicher Forschungsthemen, etwa bei der Datierung von Kulturschichten. Im Verlauf der Projektsarbeit griff sie eigene Fragestellungen auf, die einfach die Gegenwartswirklichkeit des Untersuchungsgebietes aufzwang. Denn auch im Gebiet des Mexiko-Projektes und in seiner Umgebung sind Städteballungen entstanden infolge überdimensionierter Landflucht und hoher Geburtenraten. Dies wiederum löste den Prozeß der Störung des ökologischen Gleichgewichts aus. Die Bodenerosion, die durch unsachgemäße Bewirtschaftung und den Waldraubbau erhebliches Ausmaß angenommen hat, der regionale Wasserhaushalt und alle Phänomene, die zu einer Änderung des lokalen Klimas führen, wurden und werden studiert. Bereits jetzt hat die Luftverschmutzung über der Hauptstadt Mexiko Größenordnungen

Zu Seite 2 und 3

Abb. 1 und 2: Zwei Aufnahmen des Landsat-Satelliten von der mexikanischen Meseta und ihrem Ostabfall. Im westlichen Teil der Abb. 1 erkennt man die nordsüdstreichende Sierra Nevada mit den Vulkanen Ixtaccihuatl (5286 m) und Popocatépetl (5450 m). Der zentrale rote Fleck im oberen Abschnitt bildet die Vulkanruine Malinche ab (4461 m). Die Abb. 2 durchzieht von Nord nach Süd der Gebirgsabfall der Sierra Madre Oriental zur Küstenniederung um Veracruz. Der weiße Punkt ist der Pico de Orizaba (5700 m). Er ist der höchste Berg Mexikos. Die rötlichen Farbtöne auf beiden Aufnahmen geben Pflanzenformationen wieder, die sich trotz Trockenzeit noch in der Vegetationsphase befinden. Es sind einerseits Gebirgsnadelwälder unter Nebeleinfluß oder Regenwälder sowie Überschwemmungssavannen in der Küstenniederung. Auch Bewässerungsflächen mit heranreifenden Feldfrüchten verbergen sich hinter der rötlichen Farbe. Die dunkelgrauen Flächen der Gebirgszüge des Hochlandes zeigen den Trockenstand laubwerfender Wälder an. Die hellgrauen Flächen sind offenes Land, vorwiegend die abgeernteten, brachliegenden Agrarlandschaften. Der bläuliche Schimmer vieler Bereiche deutet auf dichter besiedelte Landschaften hin. Westlich der Sierra Nevada liegt Mexiko-Stadt in einem nach Norden offenen Becken. Nördlich des dunkelblau gefärbten feinkonturierten Stausees von Valsequillo im Zentrum von Abb. 1 liegt Puebla (blauer Fleck). Die große Seefläche auf Abb. 2 ist der Stausee der Presa Miguel Alemán.

Abb. 1 wurde aus Versehen um 90° im Uhrzeigersinn gedreht.

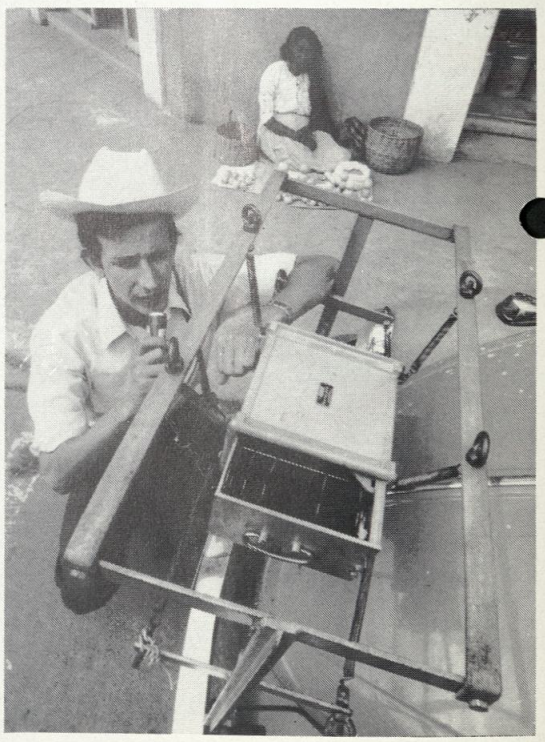


Abb. 3: Montage des Flugzeugmeteorographen an einem VW. Das Gerät wurde vor und im zweiten Weltkrieg in der Flugmeteorologie benutzt.

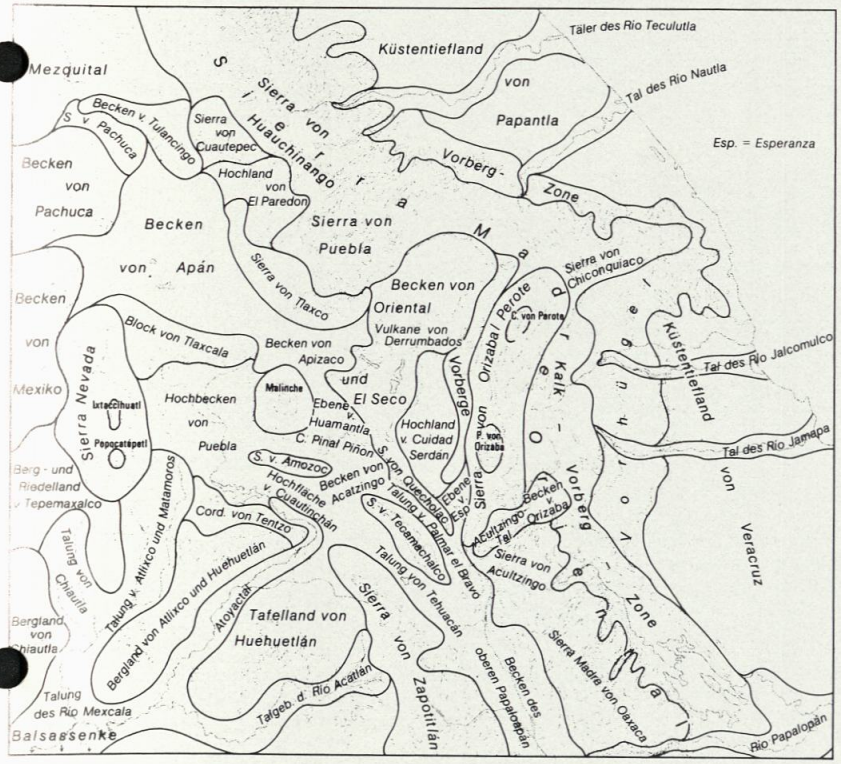


Fig. 1b: Naturräumliche Gliederung (verändert nach KLINK)

angenommen, die die ausgesprochener Industriegebiete übertreffen. Von den letztgenannten Fragenkomplexen will ich berichten.

Eine Arbeitsgruppe des Geographischen Instituts der Universität Bonn bemühte sich zunächst um zwei Bestandsaufnahmen:

1. das Pflanzenkleid in seiner räumlichen Anordnung zu untersuchen und besonderes Augenmerk auf die Grenzen zwischen Wald und offenem Land zu lenken als Ausdruck klimatischen und edaphischen Geschehens, aber auch als Ausdruck der menschlichen Aktivitäten. Denn der Mensch als primitiver Ackerbauer ist von Haus aus ein Feind des Waldes. Er rodet ihn, um durch gezielten Anbau d Pflanzenwelt für seine Ernährung zu nutzen. Daher war es notwend — abgesehen vom Studium des Inhaltes der Pflanzenwelt —, auc den Grad und den Stand der Vegetationserhaltung bzw. -zerstörun zu studieren, um die Tragfähigkeit für die Bevölkerungsentwicklun abzuschätzen und schließlich den Wandel der Vegetation von de Vergangenheit bis heute nachzuvollziehen. Als erste Frucht diese Bestandsaufnahme entstand eine Vegetationskarte 1 : 250 000. Sie erschien in der ERDKUNDE, Bonn 1973, als Beilage.

2. Es mußten weiterhin die klimatologischen Grundphänomene des Wärme- und Wasserhaushaltes studiert und aufgenommen werden, um das Funktionieren der natürlichen Ökosysteme mit Daten zu untermauern und ihre Wirkweise zu erklären. Dies geschah neben der Auswertung von Daten des staatlichen Klimanetzes durch den Aufbau eigener Stationen an gezielt ausgewählten Standorten. Die Überbrückung des Raumes zwischen den einzelnen Stationen mußten mit Methoden einer Landesklimaaufnahme vorgenommen werden. Dies geschah unter anderem auch unter Einsatz sehr einfacher, aber um so nützlicherer Hilfsmittel (Abb. 3). Als eine Frucht dieses Bemühens entstand eine Klimakarte 1: 500 000, die die hygrischen und thermischen Verhältnisse des gesamten östlichen mexikanischen Berglandes erfaßt. Auch diese Karte ist publiziert in der ERDKUNDE, Bonn 1978.

Das zentrale Bergland und sein Klima

Die beiden Aufnahmen der LANDSAT-Satelliten (Abb. 1 u. 2 u. Fig. 1b) zeigen die großräumige Anordnung der Naturlandschaft im Untersuchungsgebiet. Es liegt im mittleren Mexiko im Verzahnungsbereich der zentralen Hochflächen mit der Sierra Madre Oriental und der sogenannten Sierra Neovolcanica Transversal. Es umfaßt die Hochbecken von Puebla-Tlaxcala, Oriental, Apán und deren nordöstliche bzw. östliche Abdachung zur Karibischen Küste. Die drei Teilbecken bilden den östlichen Ausläufer der Meseta Central von Mittelmexiko.

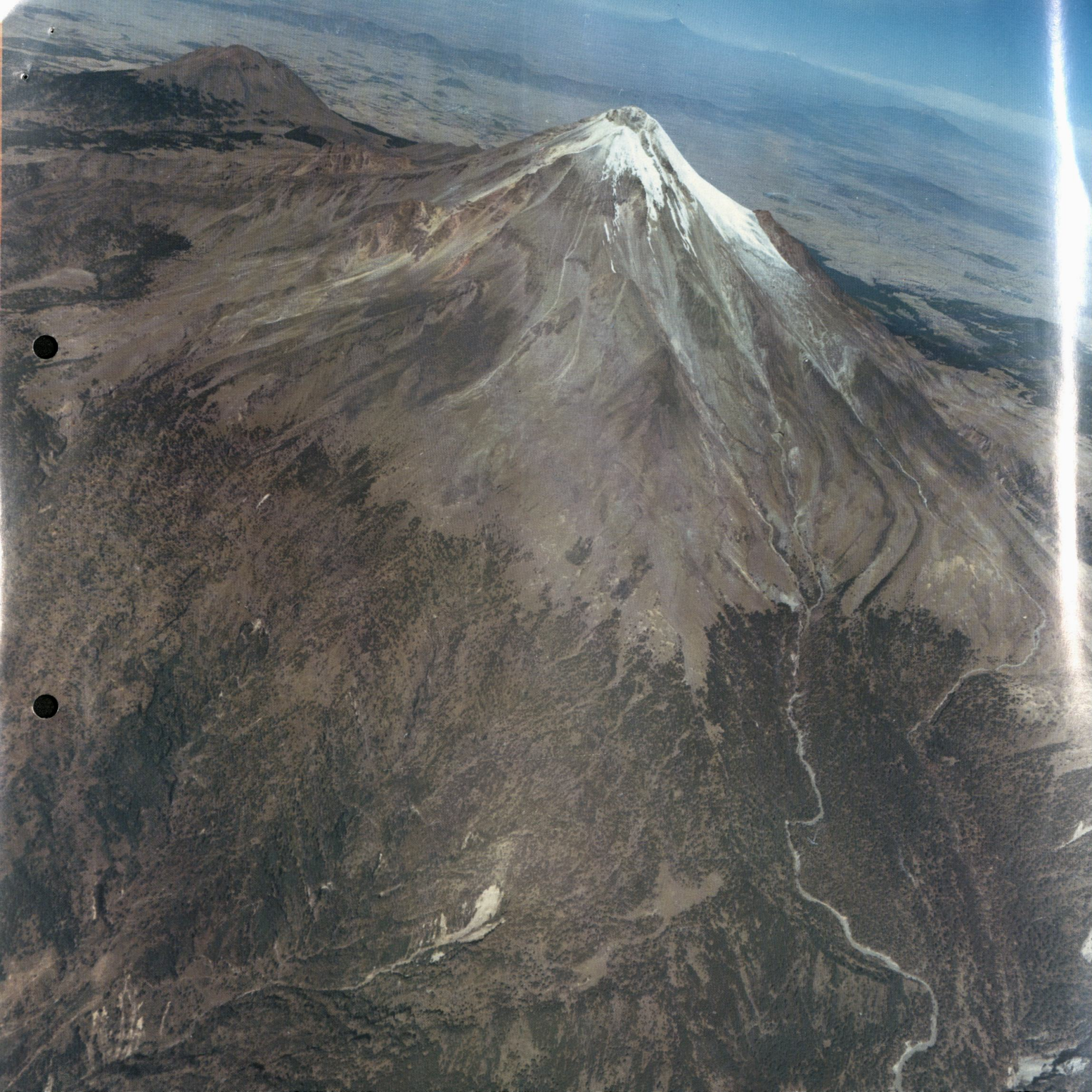


Abb. 4: Erloschener Vulkan Malinche (4461 m). Zentralliegendes Bergmassiv im Arbeitsgebiet des Puebla-Projektes.

Fast im Zentrum des östlichen Meseta-Bereiches erhebt sich die Vulkanruine Malinche mit 4461 m (Abb. 4). Steigt man auf diesen Berg, so kann man fast den gesamten Untersuchungsraum überblicken. Die Westflanke bildet die Nord-Süd streichende Sierra Nevada (Abb. 5) mit den Vulkanen Popocatépetl (5450 m) und Ixtaccihuatl (5286 m). Der Citlaltepetl (5700 m), meist Pico de Orizaba genannt, sitzt der Meseta an ihrem östlichen Rande auf (Abb. 6). Die Becken werden durchragt von Einzelkuppen und kleinen Bergmassiven, andererseits sind sie durchzogen von Bergrücken, die ihre Existenz vulkanologischen und tektonischen Ereignissen im Überschneidungsbereich der transversalen Vulkanzone und der meridional streichenden Sierra Madre Oriental verdanken. Die mittlere Höhenlage der Becken beträgt zwischen 2000 und 2500 m. Nach Osten fällt das Land steil zur Küstenniederung der Karibischen See ab (siehe auch Abb. 6).

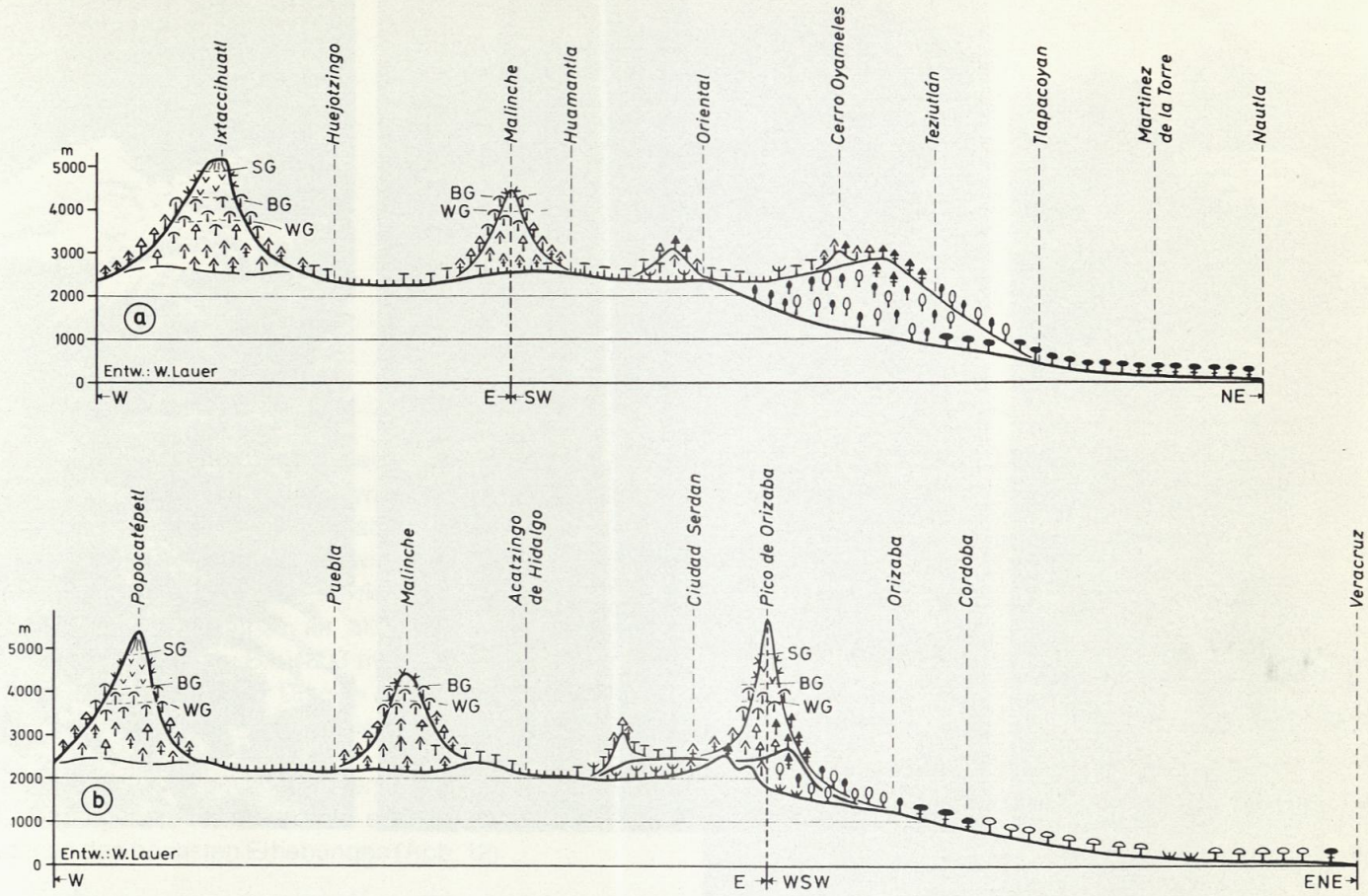
Abb. 5: Luftbild der Sierra Nevada von Süden. Im Vordergrund der noch rauchende Vulkan Popocatépetl (5450 m). Im Hintergrund Ixtaccihuatl (5286 m) (Juli 1975).

Abb. 6: Pico de Orizaba (5700 m) (April 1977).

Während die Verbreitung der Vegetationseinheiten im wesentlichen den gegebenen Niederschlagsverhältnissen folgt und somit der nordöstliche Teil der Niederungen von einem Regenwald (rötliche Farben im Satellitenbild) bestanden ist, liegt am östlichen Fuß der Gebirgsabdachung ein größeres Trockengebiet. Der Gebirgsrand trägt aber einen dichten, regennassen Bergwald. Die Meseta hingegen ist, wo sie nicht von Kulturland eingenommen wird, von Kiefern- und Eichenwäldern bestanden, die an ein sommerfeuchtes und wintertrockenes Gebirgsklima angepaßt sind (Fig. 2).

In den warmtropischen Niederungen, der sogenannten „tierra caliente", gedeiht ein üppiger Regenwald (Abb. 7). Im Bergwald der „tierra tempalda" zwischen 800 und 2000 m Höhe wandelt sich das Bild stark. In der oberen Baumschicht der Bergwälder dominieren boreale Baumgattungen, so z. B. winterkahle, halbimmergrüne Eichen und besonders der Amberbaum *(Liquidambar)* (Abb. 8). Ab 1500 bzw. 1800 m gesellen sich Kiefern hinzu. Darüber hinaus sind vertreten: Erlen, Linden, Buchen und Eschen. Das niedere Stockwerk ist gekennzeichnet durch tropisch-montane, frostempfindliche Pflanzen, auf Abb. 9 repräsentiert durch baumförmig wachsende Farne. Diese interessante Mischung zwischen borealen und tropischen Arten gehört zu den pflanzengeographischen Besonderheiten Mexikos. In den Bachschluchten und an Steilhängen ist der tropisch-montane, südhemisphärisch geprägte Anteil der Pflanzenwelt besonders groß. Viele Pflanzen stammen aus den temperierten Wäldern Westpatagoniens. Sie wanderten nach Auffaltung des Andengebirges von der Südhemisphäre bis nach Mexiko.

Sonst herrschen in der kühlen Klimastufe der „tierra fria" Eichen und besonders Kiefern vor. Für die Wälder, die täglich in starken



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 (1800-2700m)
- 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* und *Alnus* (2700-3200m)
- Semihumider Kiefern-Eichen-Bergwald (1800-2700m)
  semihumid pine-oak montane forest (1800-2700m)
- T 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 Schopfblattgewächs. (*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

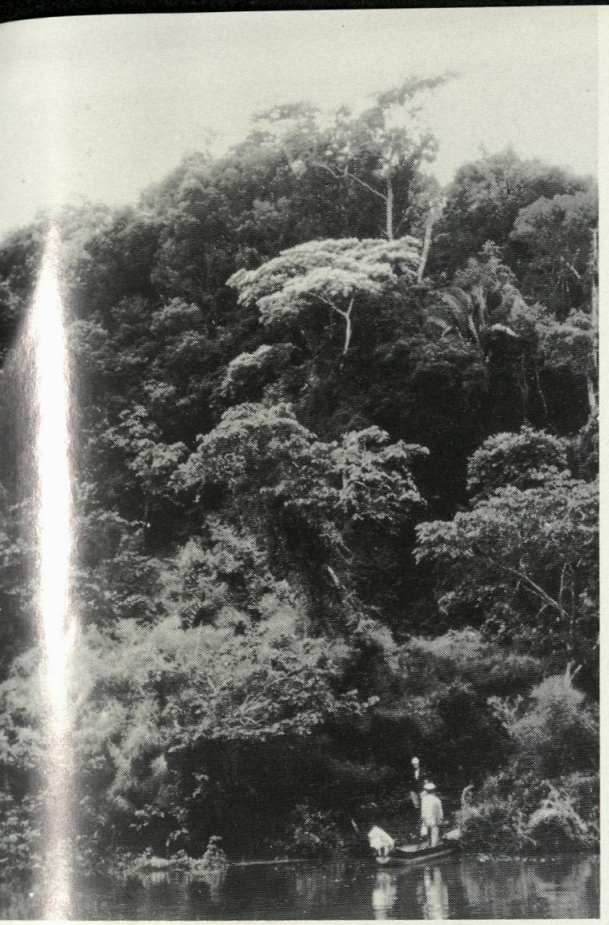
- Frostschuttzone und ewiger Schnee
  periglacial and glacial belts
- Ackerland
  agricultural land

SG Schneegrenze
snowline

BG Baumgrenze
timberline

WG Waldgrenze
forestline

Fig. 2: Vegetationsprofile zwischen Küste und Hochland.
a) NE-Abdachung, b) Ostabdachung



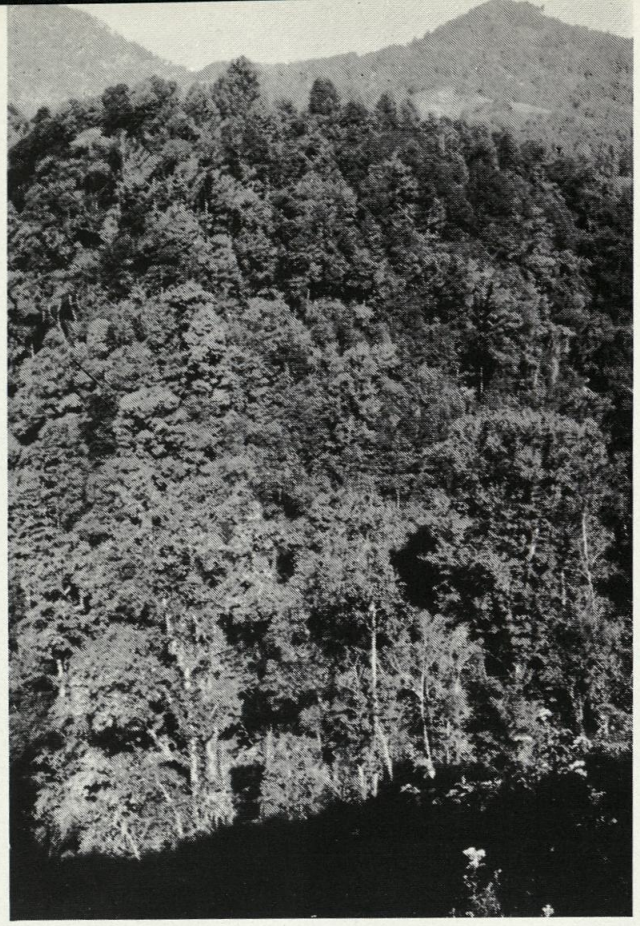


Abb. 7: Regenwald im Tiefland (oben links).

Abb. 8: Bergwald an der Ostabdachung in ca. 1500 m. Laubwerfende Eichen- und Amberbaumwälder. Auf den Gipfeln Kiefern (oben).

Abb. 9: Tropisch und boreal geprägte Mischflora in den Bergwäldern. Neben Buchen, Eichen und Linden gedeihen tropisch-montane Gewächse im Unterwuchs, z. B. baumförmig wachsende Farne (oben rechts).

Abb. 10: Nebel prägt die Physiognomie der Höhenwälder. Moose, Farne, Flechten und Tillandsien sitzen den Bäumen als Epiphyten auf (links).

Abb. 11: Abies religiosa heißt die einzige Tanne in den Kiefern-Bergwäldern Mexikos. Sie wächst nur in den Höhen zwischen 2700 und 3300 m (rechts).

Nebeleinfluß gelangen, hat man den Namen „Nebelwälder" geprägt (Abb. 10). Im oberen Niveau der Wälder zwischen 2700 und 3300 m tritt auch die einzige Tanne des mexikanischen Hochlandes *(Abies religiosa)* auf (Abb. 11). Die Höhenstufe zwischen 3200 und 4000 m „tierra helada" wird allein von *Pinus hartwegii* eingenommen. Sie bildet die Wald- und Baumgrenze an allen über dieses Niveau hinausragenden Vulkanhängen. Bis 4800 m hinauf reicht dann noch eine Reihe von Gräsern, vor allen Dingen Horstgräser, vorwiegend drei Arten, die man im Lande als „Zacatonales" bezeichnet.

Oberhalb von 4800 m „tierra nevada" folgen die Frostschuttzone mit Zeugen der vergangenen Eiszeit sowie schließlich Schnee- und Gletscherfelder an den höchsten Erhebungen (Abb. 12).

Die Schneegrenze liegt bei rd. 5000 m. Die Südhänge von Popocatépetl und Pico de Orizaba sind zwischen Februar und April meist schneefrei bis zum Gipfel. Die Nordhänge tragen Gletscher. Die weißen Kappen sind auf den Satellitenaufnahmen deutlich zu erkennen.

In die Vegetationshöhenstufen sind jeweils offene Feldbaulandschaften eingegliedert. In der heißen und gemäßigten Höhenstufe wachsen warmtropische Früchte, darunter eine Reihe von Weltmarktprodukten (Abb. 13). In der Höhenstufe des nicht mehr frostfreien Beckens von Puebla zwischen 2000 und 2500 m liegt eine reich differenzierte Agrarlandschaft mit deutlicher Dominanz von Maisanbau seit seiner Züchtung vor mehr als 7000 Jahren (Abb. 14). In der Stufe der trockenen Kiefern-Gebirgswälder oberhalb 2500 m trifft man noch auf Gerstenfelder, deren Raine mit Pulque-Agaven besetzt sind (Abb. 15).

In den extrem trockenen Binnenbecken, wie z. B. in dem von Oriental und Tehuacan, wachsen neben Kakteen und Dornbüschen malerisch anmutende Schopfblattpflanzen, unter denen *Yucca*-Arten dominieren (Abb. 16).

Für den Beginn unserer Untersuchung war es von Bedeutung, wie die Gesamtstruktur des K l i m a s im Projektgebiet zu kennzeichnen sei.

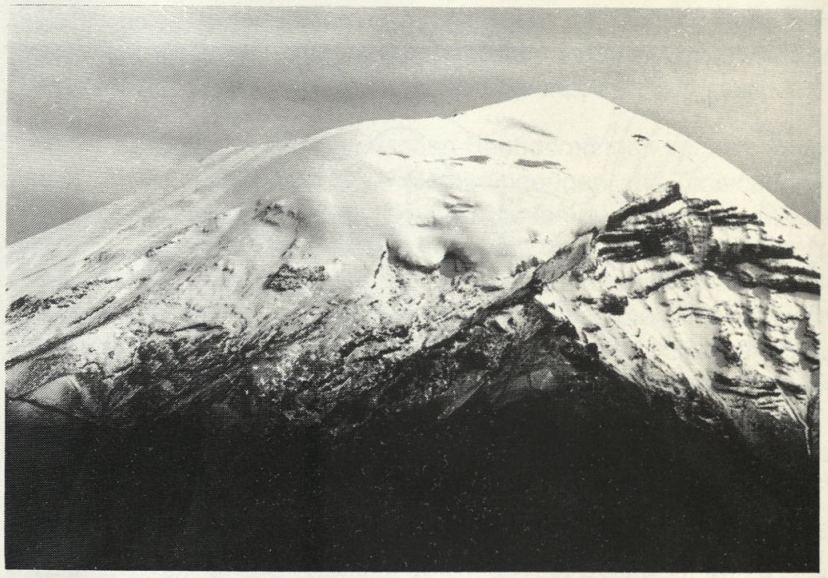


Abb. 12: Die Gletscher der höchsten Gipfel sind bis auf wenige Reste dem wärmer werdenden nacheiszeitlichen Klima zum Opfer gefallen. Nur Citlaltepetl, Ixtaccihuatl und Popocatépetl tragen noch Eiskappen.

Abb. 13: Die weltwirtschaftlich wichtigen Kulturpflanzen ordnen sich den Temperaturhöhenstufen ein. Zwischen 800 und 1800 m gedeihen Zuckerrohr und Kaffee besonders gut.

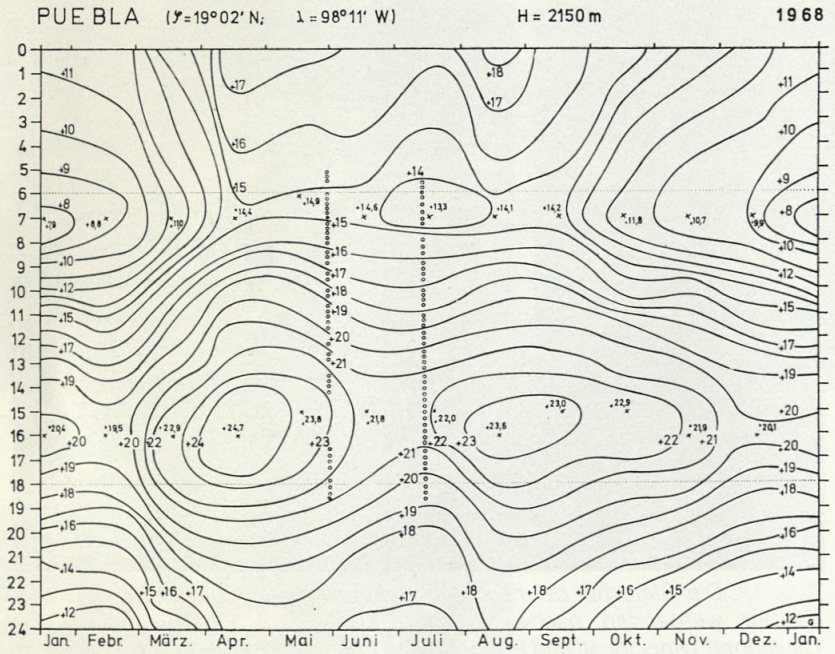


Fig. 3: Thermoisoplethen-Diagramm von Puebla (nach GÄB)

Es war die Frage zu stellen: Entspricht das Klima noch den Kriterien der warmen und kühlen Tropen? Wie stark sind außertropische Einflüsse? Nach der üblichen Lehrmeinung wird das zentrale Mexiko noch voll zu den Tropen gerechnet. Dies beweist z. B. auch das Thermoisoplethendiagramm (Fig. 3), in welchem sich durch die vorwiegend horizontal verlaufenden Linien der tropische Temperaturcharakter ausdrückt. Er läßt sich umschreiben durch das Fehlen thermischer Jahreszeiten und ein stärkeres Hervortreten des Temperaturgegensatzes zwischen Tag und Nacht.

An den Hängen des Ostabfalles verursachen häufige Kaltlufteinbrüche im Winter („Nortes") tagelang nebel- und wolkenreiche Witterung mit sehr hohen Niederschlägen. Die Temperaturstürze können in Extremfällen mehr als 5° betragen in wenigen Stunden (Fig. 4). Da die seichte Kaltluft häufig nicht den Gebirgsrand zu den Hochflächen wetterwirksam überqueren kann, sind die Hänge von diesem Temperatursturz viel stärker betroffen als die Hochfläche. Das nebel- und wolkenreiche Wetter verursacht dort überdies eine Verlängerung der Regenzeit um 3 bis 5 Monate. Nach diesem Befund kann aber kaum daran gezweifelt werden, daß die niederschlagsträchtigen Norteeinbrüche an den Abhängen, die von einer außertropischen Zirkulation gesteuert werden, auch ein außertropisches Muster der mittelmexikanischen Witterung besonders dem Winterhalbjahr aufprägen. Nur der Sommer wird als Regenzeit im tropisch-hygrischen Sinne empfunden, der Winter aber als kühle Zeit im außertropisch-thermischen Sinn. Durch die außertropischen Einflüsse im Winter werden die Warmtropen im Bereich Mittelmexikos bereits stark eingeengt auf die unteren Höhenstufen der „tierra caliente", denn bereits in der „tierra templada" sind an den unterkühlten Hangpartien Fröste und allgemeiner Wärmemangel als

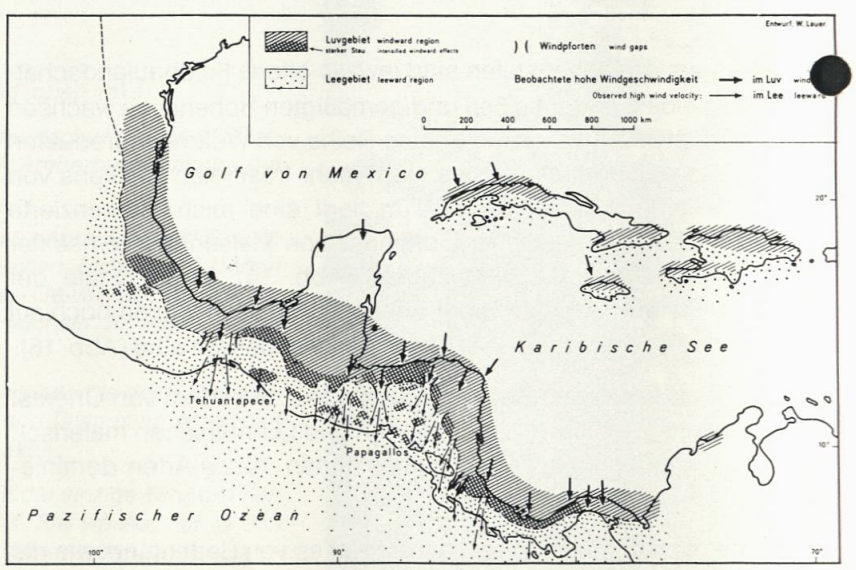


Fig. 4: Die Verbreitung der „Norte"-Strömung in Mittelamerika

Folge der starken Veränderlichkeit der Temperatur ökologisch wirksam. Von diesem Phänomen sind die sehr feuchten Abhänge stärker betroffen als das Binnenland. Dort nämlich und im Bereich der Hochflächen liegt die mittlere, absolute Frostgrenze bei 1900 m NN, an den Abhängen hingegen im Mittel bei 1200 m NN. Die Grenze liegt also 700 m tiefer als im Binnenhochland. Die ökologische Wirksamkeit dieses Phänomens drückt sich dadurch aus, daß in der hochstämmigen Baumflora bereits in der „tierra templada" eingewanderte Pflanzen aus Nordamerika (Kiefern, Eichen, Linden, Buchen) starke Verbreitung erlangen.

Studien an der Waldgrenze

Ein wichtiges Studienobjekt war die Waldgrenze, dies vor allem im Zusammenhang mit der Frage, ob das Vegetationsbild und die bedingenden klimatischen Ursachen, wie sie eben dargestellt wurden, ein dauernder Zustand sind oder sich im Laufe der Zeit — sei es langfristig oder kurzfristig — ändern. Die Waldgrenze verläuft in allen Gebirgen der Erde dort, wo der baumförmige Wuchs von Pflanzen, aus welchen Gründen auch immer, nicht mehr existieren kann und in eine niedere Vegetation ohne verholzte Sprosse übergeht. Meist sind es kräuter- und grasreiche Fluren.

Art und Form der Waldgrenze sind in Mexiko ein wichtiges Kriterium für das Klima. Sie zu studieren, eröffnet Möglichkeiten zu weiteren Schlüssen über Klimaänderungen. So wissen wir zum Beispiel, daß seit der letzten Vereisung die Waldgrenze um ca. 1000 m höher gerückt ist und im Zeitraum zwischen 10 000 und 20 000 Jahren vor heute die Gletscher und das entsprechend kalte Klima einen Baumwuchs in den betreffenden Höhenstufen unterbanden.

Die Waldgrenze verläuft im mittleren Mexiko heute in ca. 4000 m Höhe. Sie wird von der nordischen Baumart *Pinus hartwegii* gebildet. Diese ist nach unseren Beobachtungen bereits den thermischen Jahreszeiten angepaßt. Sie hat eine Winterruhe und verlegt ihre Hauptwachstumsphase auf die sommerliche Jahreszeit, die am Rande der Tropen allerdings mit der tropischen Regenzeit zusammenfällt. Besonders im Winterhalbjahr sind die Fröste und der Frostwechsel an der randtropischen Waldgrenze sehr wirksam.

Unsere speziellen mikroklimatischen Beobachtungen konzentrierten sich auf die Feststellung der Frostbedingungen, der Oberflächen- bzw. Strahlungstemperaturen, die Bodentemperaturen sowie die Bestimmung der Bodenfeuchteverhältnisse an ausgewählten Standorten. Dazu wurden phänologische und feuerökologische Beobachtungen gemacht. Diese Studien wurden zusammen mit meinem damaligen Schüler und heutigen Kollegen, Professor Dr. Dieter Klaus, Bonn, durchgeführt. Während kurzer Zeit, im März 1974, hatten wir vier Stationen zur Feststellung der allgemeinen klimatischen Bedingungen im Waldgrenzbereich des Pico de Orizaba aufgebaut. Eine dreijährige Beobachtungsreihe liegt nunmehr auch von vier Stationen am Ixtaccihuatl vor.

Die wichtigsten Ergebnisse, die ausführlich in mehreren Publikationen bereits veröffentlicht sind, seien hier zusammengefaßt: Die mittlere Temperatur beträgt an der Waldgrenze, also in 4000 m, ca. 5° C. Die Niederschläge betragen an dieser Grenze ca. 900 mm. Sie haben ihr Maximum im Bereich von 3200 m (ca. 1300 mm) und nehmen von dort aus kontinuierlich mit zunehmender Höhe ab. An 210 Tagen geht die Temperatur unter den Gefrierpunkt. Die Frostwechselhäufigkeit hat aber eine klare Periodizität. Weit mehr als die Hälfte der Frostwechseltage entfallen auf die Wintermonate zwischen Oktober und März. Im März/April nimmt die Frostwechselhäufigkeit deutlich ab. Genau in diese Zeit fällt auch das Ausbreiten der Jungtriebe von *Pinus hartwegii.*

Die Boden- und Vegetationsoberflächen wurden mit einer Infrarotsonde abgetastet. Dabei haben wir maximale Tagesschwankungen von 70° festgestellt. Sie traten an abgestorbenen Büschelgraspolstern zwischen Tag und Nacht auf. Minimalwerte wurden an assimilierenden Blättern und Nadeln registriert, wo die Transpiration eine erhebliche Reduktion der Blattoberflächentemperatur bewirkt.

Die Oberflächentemperaturen der Blätter schwankten an den Meßtagen zwischen 4° und 58° am 26. und 27. März 1974 und zwischen — 7 und + 37° C am 2. und 3. März 1974.

Das unterschiedliche Wärmespeicherungsvermögen von Gesteinsrücken und Blockhalden einerseits und der sandigen Bodenoberfläche andererseits führte bei unseren Messungen zu Unterschieden der nächtlichen Minimumtemperaturen von ca. 7° C. Besonders westexponierte Teilpartien, die vor Sonnenuntergang noch beschienen waren, zeigten den günstigsten Tagesgang. Diese lokale Wärmebegünstigung von 5 bis 7°, wie sie mehrfach beobachtet wurde, reduziert örtlich die Zahl der Frostwechseltage im Jahr um 40 bis 50 Tage und erhöht die maximale Zahl der frostfreien Stunden auf 10 bis 12. Damit wird für gewisse Standorte an der Waldgrenze eine erhebliche Begünstigung, d. h. also ein Standortvorteil, erreicht, besonders eine Verlängerung und Intensivierung der Vegetationsperiode für die Pflanzen an diesen Punkten. Das Ergebnis ist, daß die Baumvegetation auf Gesteinsrücken weit höher hinaufreicht als in den Senken oder den Hängen mit normaler Bodenausstattung.

In die geschlossene Büschel-Gras-Vegetation an der Waldgrenze werden durch sogenanntes „Kammeis", das fast jede Nacht den Boden leicht auffriert, Lücken gerissen, in denen der Baumjungwuchs kaum noch eine Chance hat. Die Temperaturen sinken nachts unter 0° C, und der nackte Boden erleidet durch höhere Verdunstung stärkere Wasserverluste (Abb. 17). Nur in den Grasbüscheln, in die der Frost nicht so oft eindringt und auch höhere Feuchtigkeit erhalten bleibt, können Jungpflanzen eher überleben. Sie bleiben für einige Jahre im Niveau der Grasbüschel und schießen dann, wenn ihr Wurzelwerk gefestigt ist und günstige Frühjahrstemperaturen herrschen, sehr schnell in die Höhe.

Fast alljährlich, wenigstens aber im Abstand von Jahren, steht das Gebiet der Waldgrenze unter stärkerer Feuereinwirkung. Hier muß man zwischen gelegten und natürlichen Bränden unterscheiden.

1. Gelegte Brände treten fast regelmäßig im Jahresrhythmus auf und führen zu einer fast vollständigen Vernichtung des Jungwuchses. Bei der 6- bis 7jährigen Rhythmik der natürlichen Feuer sind die Überlebenschancen für den Jungwuchs günstiger, da sich die Kronen bereits aus dem Bereich der Bodenfeuer herausheben.

2. Gelegte Brände treten in maximaler Häufigkeit in den Monaten Februar und März auf, natürliche Feuer hingegen erst zu Beginn der sommerlichen Niederschlagsperiode *(Mai)*, weil dann die ersten Gewitter auftreten, die das Feuer entfachen, zugleich aber mit der Durchfeuchtung der bodennahen Vegetationsdecke seine Ausbreitung limitieren.

Brände werden vom Menschen meist weit unterhalb der Waldgrenze gelegt und durch den Hangwind unkontrolliert angefacht (Abb. 18). Natürliche Feuer nehmen ihren Ausgang bevorzugt im Bereich der oberen Waldgrenze und können sich nur langsam gegen den Hangaufwind talwärts fortentwickeln. Während die natürlichen Feuer die Waldgrenze über Jahrhunderte stabilisiert haben, wird durch gelegte Brände die Waldgrenze sehr rasch künstlich herabgedrückt wegen fehlenden Jungwuchses der *Pinus hartwegii*-Bestände.

Die thermischen wie hygrischen Mikroklimafaktoren lassen den Schluß zu, daß die Waldgrenze in Mexiko im Gegensatz zu den feuchten inneren Tropen eine Kälte-Trocken-Grenze ist. Die obere Kiefern-Waldgrenze ist jedoch weder typisch tropisch noch vollständig außertropisch geprägt. Sie ist ein Abbild auch des floristischen Gesichts dieser Hochgebirgszone, in der außertropische Elemente — besonders in der Baumvegetation — sich mit außertropischem und tropischem Unterwuchs in pflanzengeographischer Eintracht mischen. Die obere Waldgrenze in Mexiko ist demnach geformt durch einen Übergangscharakter, der nicht gestattet, die differenzierenden ökologischen Merkmale nur einer Klimazone zuzuordnen.

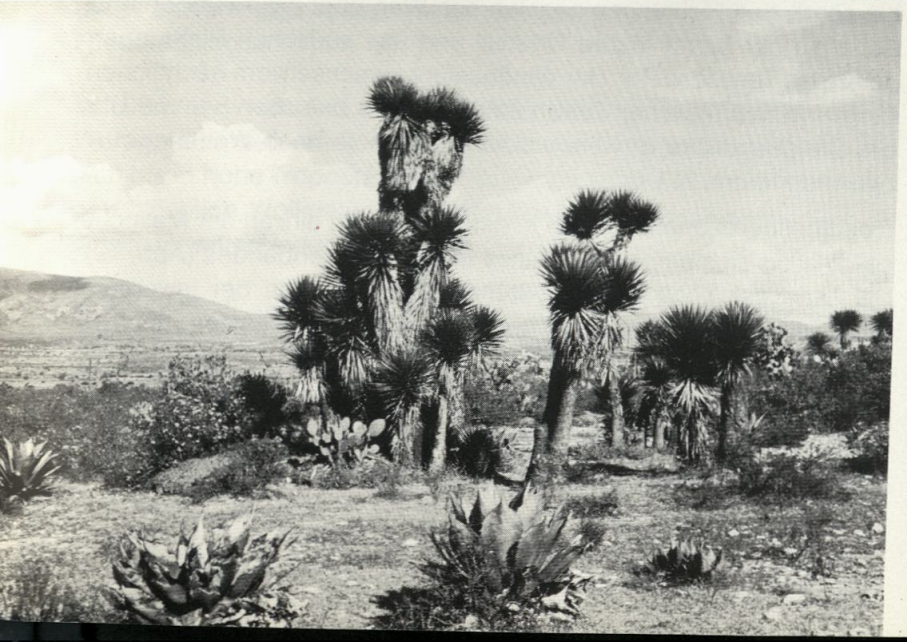
Abb. 14: Auf dem Hochland beherrscht der Mais die Agrarlandschaft. Mais ist das Grundnahrungsmittel der dort lebenden Indianerbevölkerung.

Abb. 15: Bis in Höhen um 3200 m gedeihen Gerste und Pulque-Agaven. Sie werden zu Bier und Pulque verarbeitet, den wichtigsten schwachalkoholischen Getränken der Bevölkerung.

Abb. 16: Malerische Schopfblattpflanzen wachsen auf den trockenen, unfruchtbaren Böden der Meseta.

Abb. 17: An der Waldgrenze entwickeln sich junge Kiefernschößlinge im Schutze der Büschelgrasfluren (oben rechts).

Abb. 18: Durch gelegte Brände wird zwar die Landschaft offengehalten, doch werden die Böden geschädigt und die Atmosphäre getrübt (unten rechts).



Die thermische Zirkulation in den Tropen

Ein anderes Phänomen mit weitreichenden ökologischen Konsequenzen prägt tropische Gebirgsklimate. Es ist die thermische Zirkulation. Es handelt sich dabei um ein tageszeitlich wechselndes Gebirgs-Windsystem zwischen Tiefländern und Hochländern, bei dem tagsüber der Wind zum Hochland hinauf- und nachts ins Tiefland hinabströmt. Während in unseren Breiten solche Phänomene Ausnahmecharakter besitzen, wie etwa Berg-Tal-Winde in den Alpen oder im Schwarzwald, sind die Tropen großräumig davon betroffen.

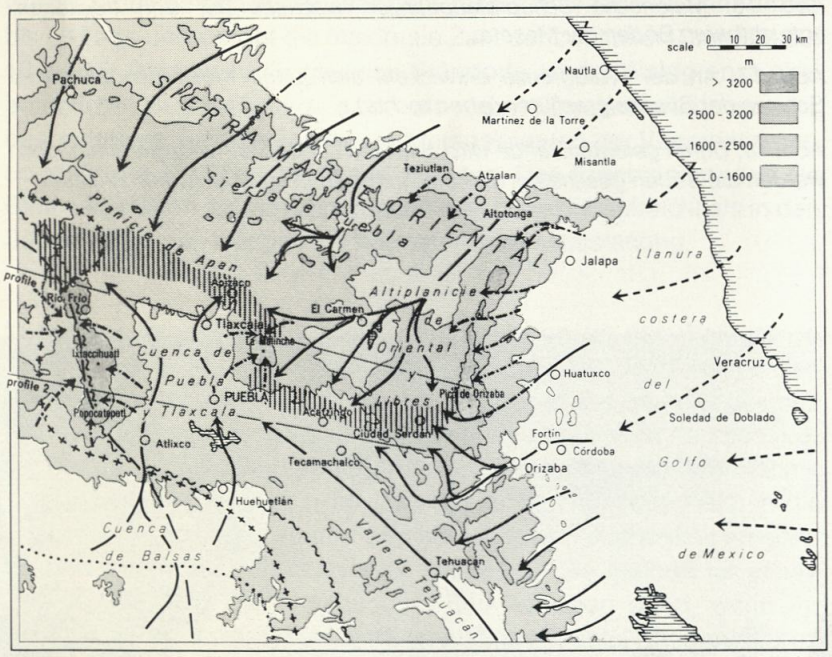


Fig. 5: Die thermische Zirkulation (Tag) im Bereich der ostmexikanischen Meseta (nach LAUER/KLAUS)

Man kann fast sagen, das Klima in den Tropen findet ausschließlich in dieser seichten thermischen Strömung statt. Das ganze System ist nur wenige hundert Meter dick und überzieht die tropischen Gebirge mit einer dünnen Windhaut bis in die Höhen der „Passatinversion", einer Sperrschicht, die sich im Bereich der Passate fast täglich zwischen Höhen um 2500 und 5500 m ausbildet.

Dieses großräumige thermische Windsystem (Fig. 5) kommt an der Küste als Land-See-Wind, an den Ost- und Nordosthängen der Sierra Madre Oriental als Hangwind, in den Durchbruchstälern und Hochtalungen als Berg-Tal-Wind-Phänomen im einzelnen zur Geltung. Am Berg-Tal-Wind-Phänomen der Hochtalung von Puebla-Tlaxcala lassen sich einige Besonderheiten gut aufzeigen. Dabei kann die mexikanische Meseta in ihrer Gesamtheit als hochgelegene Heizfläche angesehen werden, deren tageszeitliche Überhitzung Windströmungen überregionaler Größenordnung in Bewegung setzt, die einerseits vom Golf von Mexiko, andererseits vom östlichen Pazifik ihren Ausgang nehmen und entlang bestimmter Konvergenzlinien aufeinandertreffen. Die pazifischen Luftmassen dringen über die Rio Balsas-Senke aus westlichen und südlichen Richtungen in das Untersuchungsgebiet ein, die atlantischen Luftmassen aus östlichen bis nördlichen Richtungen nehmen den Weg über die Talungen und Abhänge der Sierra Madre Oriental und aus südlichen Richtungen durch das Tehuacan-Tal. Der Windrichtungswechsel vom nächtlichen Bergwind zum täglichen Talwind tritt morgens zwischen 8 und 9 Uhr ein. Die abendliche Umkehr vollzieht sich – je nach Wetterlage – zwischen 18 und 21 Uhr.

Eine Konfluenzzone stellt sich in der Trockenzeit ein, an der Malinche sehr häufig sichtbar in Form eines langen Wolkenbandes (Abb. 19). Die Lage der Konfluenz ist natürlich abhängig von der jeweiligen Wetterlage, besonders von der Intensität der Passate oder der scharfen Nordwinde.

In der Trockenzeit herrschen meist antizyklonale Wetterlagen vor. So bleiben die Vertikalbewegungen in der Trockenzeit vorwiegend auf den Konvektionsraum unter der in großer Beständigkeit ausgebilde-

Abb. 19: Die in der Trockenzeit fast täglich auftretenden Talwinde treffen unter bestimmten Witterungsbedingungen auf dem Hochland aufeinander und formen Stratocumulusbänder. In der Regenzeit sind sie häufig die Initialbereiche von Niederschlägen.

n Passatinversion beschränkt. Das Wolkenband ist daher lediglich eine Schönwetterwolke (meist Stratocumulus), aus der kaum Niederschlag fällt (Abb. 19).

Im Sommer, während der Regenzeit, dagegen verursacht dieses Wetterphänomen stärkere Konvektion mit Vertikalbewegungen, die sich bis in hohe Troposphärenschichten durchsetzen. Dies bedeutet, daß mächtige Wolkentürme an den Berghängen entstehen, die fast täglich Gewitterniederschläge verursachen (Fig. 6).

Modellhaft ist das Berg-Tal-Wind-Phänomen ausgebildet in der Talung von Acultzingo, die die Hochfläche von Puebla-Tehuacan mit dem Tiefland von Veracruz verbindet.

Ein Profil (Fig. 7b) zeigt die Situation bei Nacht. Die kühlen Hochlandwinde strömen an den Hängen durch die Täler ab. Sie führen in den frühen Morgenstunden nach nächtlicher Abkühlung auf der Hochfläche Kaltluft mit sich, die sich vor Talschwellen und Querriegeln besonders an künstlichen Hindernissen als Kaltluftseen stauen. Sie verursachen dort zum Teil Bodenfröste bis in 1200 m Höhe abwärts.

Bei Tag (Fig. 7a) entsteht bei Hebung der Luftmassen an den Hängen in den Nachmittagsstunden am Ostabfall bei Orizaba eine dichte Nebeldecke. Die Untergrenze liegt scharf bei 1800 m. Die Folge sind üppige Berg- und Nebel-Wälder im Raum von Orizaba und am Pico de Orizaba. Das Profil (Fig. 7a) zeigt deutlich, daß die Hänge von feuchter Vegetation bestanden sind, die durch die Hangkondensation bewirkt wurde. Sie bildet sich in einer fixierten Höhe von 1800 m aus.

Da andererseits die Luftmassen über der Talmitte absinken, bildet sich inmitten des Tales eine Trockeninsel aus, die zugleich eine Ausbildung xeromorpher Dornstrauch- und Sukkulenten-Vegetation favorisiert.

Luftverschmutzung in Mexiko

Am Übergang von den östlichen Abhängen zur Hochfläche entsteht ein sehr starker sturmartiger Wind, verursacht durch den thermischen

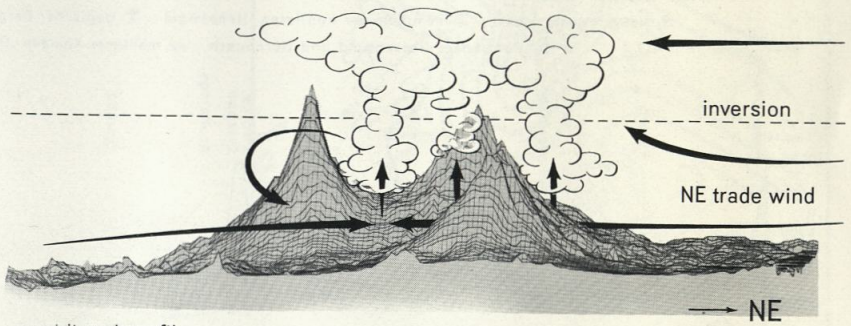


Fig. 6: Talwindzirkulation im Becken von Puebla (Regenzeit) (nach LAUER/KLAUS)

und hygrischen Gegensatz der Abhänge zu den Hochflächen. Er nimmt von den im Winter nicht bebauten Feldern große Staubmengen auf und verfrachtet sie in größere Höhen und andererseits westwärts über die Hochbecken und Flächen (Abb. 20). Die kurz vor der Saat von den Bauern gelegten Brände haben überdies eine erhebliche Trübung der Luft zur Folge, die die Sonne verfinstert. Sie bestrahlt dann nur noch mit reduzierter Kraft die Bodenoberfläche. In den Städten kommen zu Staub und Rauch die Abgase der Industrie und der Autos. Daher legt sich im Untersuchungsgebiet täglich eine Dunstschicht über die Landschaft, vorwiegend aus Aerosolen mit Durchmessern zwischen 0,1 und 1,0 µ gebildet. Partikel dieser Größenordnung entstehen u. a. bei Verbrennungsprozessen und durch mineralische sowie pflanzliche Substanzen, die durch die Windströmung direkt vom Boden aufgenommen werden. Gerade diese Dispersion spielt in den Hochtälern von Puebla und Mexiko eine große Rolle. Da sedimentierte, feinste vulkanische Aschen und Sande in diesem Gebiet während der Trockenzeit ohne den Schutz der Vegetation dem Angriff des Windes ausgesetzt und gegen Ende der Trockenzeit die Ablagerungen oberflächlich ausgetrocknet sind und durch das Pflügen und Eggen der Felder aufbereitet wurden,

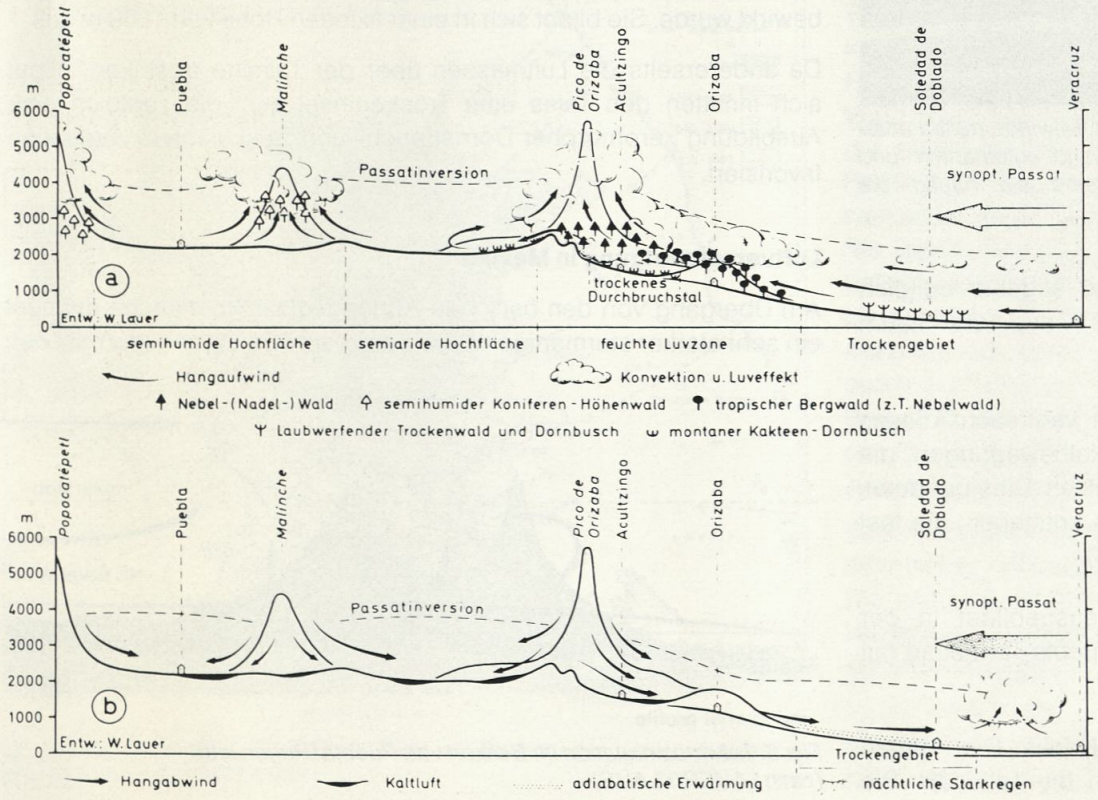


Fig. 7: Lokal-Zirkulation während der Trockenzeit zwischen dem Hochland und der Küstenniederung bei Veracruz. a) bei Tag, b) bei Nacht

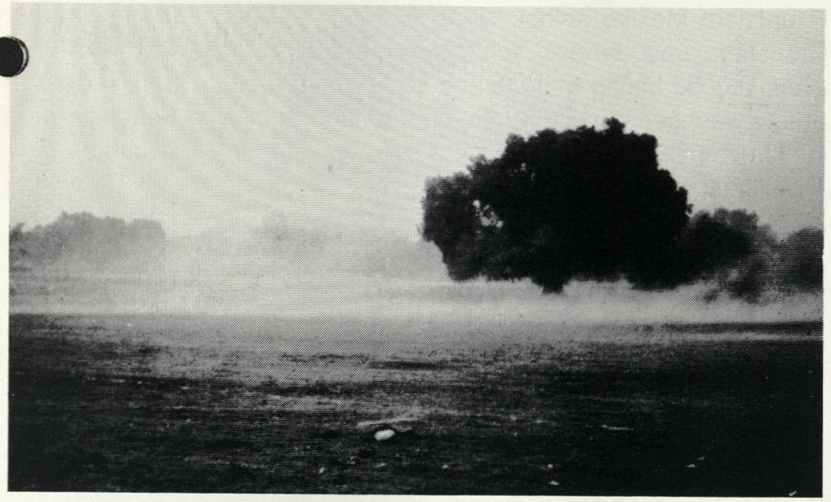


Abb. 20: Die starken Winde transportieren am Ende der Trockenzeit riesige Staubmassen von den brachliegenden Feldern in die untere Atmosphäre.

reichen Windstärken von 2 m/sec bereits aus, die unteren Atmosphärenschichten mit diesen Partikeln anzureichern. Diese Aerosolschicht hat eine Obergrenze, die zum Teil von der Schwere der genannten Partikel abhängig ist. Sie liegt im Becken von Mexiko in ca. 2700 bis 3200 m.

Eine weitere Dunstgrenze mit Anreicherung feinster Aerosole liegt in der Höhe der Passatinversion. Diese feinen Partikel bilden ebenfalls eine scharfe Obergrenze, häufig im Bereich der 500-mb-Niveaus. Darüber erst ist die Luft wieder völlig transparent.

Im allgemeinen bilden sich über den Talungen, so auch in Puebla, nachts Bodeninversionen aus. Im Bereich dieser Inversionen werden die Aerosole morgens zunächst festgehalten und können erst in größere Höhen entweichen, wenn sich durch die Tageswärme die Bodeninversion auflöst.

Im Becken von Puebla fällt die Konstanz der vertikalen Trübungsgradienten ungefähr mit der Dunstobergrenze von 2700 m bis 2900 m zusammen. Dies ist auch die Grenze, in der bei heftigen Windströmungen die etwas schwereren Partikel der vulkanischen Ascheböden bis an die Hänge verfrachtet werden. Die Bodenkundler des Projektes haben an der Sierra Nevada eine Grenze der Verbreitung der äolisch verfrachteten Bodensubstanzen bis in diese Höhen festgestellt.

In Puebla ist normalerweise die stärkste Aerosolanreicherung über der Innenstadt festzustellen. Merkwürdigerweise wird die stärkste Anreicherung bei Westwinden erreicht und nicht bei den täglichen Berg-Tal-Winden von Süd und Nord. Dies ist mit der Ansiedlung der Industrie im Westen der Stadt zu erklären. Im ganzen sind sechs Verteilungsstrukturen bei verschiedenen Wetterlagen von D. Klaus festgestellt worden.

Die Entwicklung der Dunstglocke über Mexiko-Stadt verursacht durch die bekannte Glashauswirkung eine Überwärmung (Fig. 8).

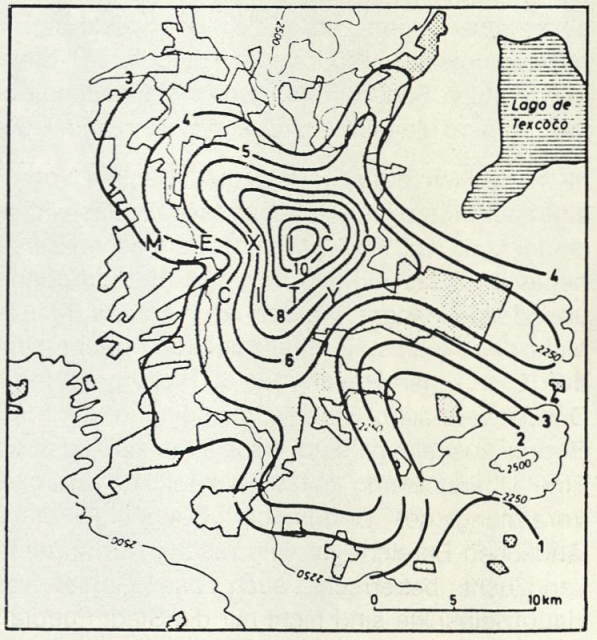


Fig. 8: Die Raumstruktur der Minimumtemperaturen im Stadtgebiet von Mexiko City am 8. Februar 1972 (nach JAUREGUI)

Diese Überwärmung beträgt in der Innenstadt von Mexiko während der Trockenzeit in den frühen Morgenstunden vor Sonnenaufgang noch ca. 6°. Daher stellt man seit etwa 20 Jahren in der Innenstadt von Mexiko keinen Frost mehr fest, obwohl die ländliche Umgebung im Winter Frosttemperaturen kennt.

Waldverwüstung und Bodenerosion

Das Leben des Menschen ist ohne eine Veränderung der natürlichen Vegetation nicht möglich. Wo der Mensch kultiviert, gibt es offenes Land und ist der Wald weitgehend vernichtet. In den Industriestaaten hat er meist dafür gesorgt, vorwiegend die besseren Böden auszunutzen und das schlechtere Land einem künstlichen Wald, den Forsten, zu überantworten. Für Mexiko kann man feststellen, daß normalerweise eine vorsichtig geübte Waldbrandwirtschaft durchaus das ökologische Gleichgewicht der Landschaft nicht stören muß. Im allgemeinen führt erst die Übervölkerung und der dadurch hervorgerufene allzu starke Eingriff in den Naturhaushalt zu irreversiblen Schäden im natürlichen Haushalt irdischer Landschaften, die dem Menschen in Zukunft zu einer Falle werden können.

Im klimatisch günstig gestellten Becken von Puebla gibt es seit altersher eine offene Kulturlandschaft. Das wichtigste Anbauprodukt ist der Mais (vgl. Abb. 14). In den randlichen Bergländern gibt es aber heute noch fast überall den sog. Brandrodungsfeldbau. Selbst an übersteilen Hängen werden noch Milpas (Maisfelder) angelegt. Wo nicht der indianische Pflanzstockbau geübt wird, hat man allenfalls den spanischen Hakenpflug als Ackergerät in Gebrauch. Da wenig Dünger verbraucht wird, nur mäßig hohe Niederschläge fallen und die Böden ausgelaugt sind, kann man nur spärliche Ernten erwarten. Eine Überstockung mit Vieh trägt zur rigorosen Entwaldung und Verarmung der Böden bei. Die Folge dieser Verarmung der ländlichen Bereiche ist eine rasche Abwanderung in die Stadt. Die Landflucht beherrscht auch das Gebiet von Puebla-Tlaxcala. Hauptzielpunkte sind nicht nur die Stadt Puebla, sondern gleich die Hauptstadt Mexiko selbst. Ohne eigentliches Ziel zieht man in die Großstadt und landet schließlich im Slum, von wo aus die Arbeitssuche häufig Monate und Jahre dauern kann. Am Rande der Städte wachsen die wilden Siedlungen und primitiven Behausungen ins Unermeßliche. Die Landflucht steht in keinem Verhältnis zu den Arbeitsplätzen der Stadt.

Waldverwüstung und Bevölkerungsexplosion greifen in den Wasserhaushalt des Landes ein und lösen flächenwirksame Bodenerosion aus. Am Nordostabhang dringen die Bauern auch in die ökologisch ausgleichend wirkenden Nebelwälder ein. Gerade diese Wälder regulieren den Wasserhaushalt des Vorlandes. Bei einer rigorosen Abholzung dieser Bestände wird die Gefahr einer massiven Störung des Wasserhaushaltes der Tiefländer heraufbeschworen. So liegt z. B. das gesamte Einzugsgebiet des Rio Tecolutla in der Sierra de Puebla. Doch ist bereits jetzt die regelmäßige Wasserführung dieses Flusses in Frage gestellt durch die starken Eingriffe in die Wälder.

Unter den die Nebelwälder bildenden Baumbeständen befindet sich auch die Kiefernart *Pinus patula*. Durch spezifische Eigenschaften ihrer Nadeln kann dieser Baum den Nebel völlig „auskämmen" und den letzten Tropfen Wasser aus der Atmosphäre herausholen (Abb. 21).

Einen folgenreichen Eingriff in die Waldassoziation stellt die Kienspan-Herstellung an Kiefernbäumen dar. Auf diese Weise stirbt der Baum in wenigen Jahren ab (Abb. 22). Überdies werden dem Wald ständig bestimmte Nutzhölzer entnommen, so daß er rasch verarmt. Die umfangreichen Eichenbestände werden merklich dezimiert, weil sie sich besonders gut zur Holzkohlegewinnung eignen. Holzkohle ist aber der wichtigste Brennstoff für die Bereitung der täglichen Mahlzeiten, insbesondere für die unentbehrliche Tortilla.

Die Heftigkeit der tropischen Regengüsse verursacht eine nachhaltige, rasch voranschreitende Bodenabspülung. Der fruchtbare Boden von den Hängen wird torrentenartig talwärts geführt und kann nicht wieder in Wert gesetzt werden. Nach Schätzungen sind bereits

Abb. 21: Pinus patula versteht mit ihren bürstenförmigen Nadelbüscheln Nebel auszukämmen, um die eigene Wasserversorgung dadurch zu verbessern.

Abb. 23: Waldverwüstung und unsachgemäßer Ackerbau vergrößern von Jahr zu Jahr die erodierten Flächen und formen irreparable „Mondlandschaften".

Abb. 22: Durch Kienspanentnahme sterben viele Kiefern nach und nach ab.

heute 9 Mio. ha mexikanischen Bodens schwer von der Bodenerosion geschädigt (Abb. 23). Das bedeutet eine meist irreparable Minderung der Ertragsfähigkeit in einem Lande, dessen Bevölkerung die höchsten Wachstumsraten der Erde aufweist.

Auf der anderen Seite führt das stürmische Wachstum der Großstädte und der Industrien zu schweren Umweltbelastungen. Verschmutzte Luft regeneriert sich bekanntlich über größeren Waldgebieten. Den borealen Nadelwäldern des Hochlandes käme hier eine geradezu lebenswichtige Funktion zu. Die Wiederaufforstung zerstörter Wälder und die Erhaltung noch vorhandener Waldreserven stellen sich deshalb als dringende Aufgaben der Entwicklungspolitik, wenn nicht zu der Bevölkerungsexplosion und den damit verbundenen sozialen Schwierigkeiten auch noch eine schwere Schädigung des Naturpotentials und eine Verminderung der Tragfähigkeit hinzukommen soll.

Daneben wächst das Erholungsbedürfnis der Großstadtbevölkerung. Besonders an den Wochenenden, aber auch in den Ferien suchen Scharen von Großstädtern die kühlen Bergregionen auf, wo sie sich bei Sport und Vergnügen besonders an den Ausfallstraßen des Beckens von Mexiko im Bereich der Paßlandschaften von den Strapazen des Alltags und der verschmutzten Stadtluft erholen möchten. Groß ist bereits die Zahl derer, die die Gipfelregionen von Ixtaccihuatl und Popocatépetl erklimmen, um sich an der Erhabenheit der schneebedeckten Bergwelt zu erfreuen (Abb. 24). Häufig ist aber gerade von dort der Blick in die Senken verwehrt, da eine dichte Dunstglocke ihn verhindert.

Meine sehr verehrten Damen und Herren, mit diesem Vortrag konnte nur ein kleiner Ausschnitt aus den Arbeitsthemen des Mexiko-Projektes vorgestellt werden. Sie betrafen – durch Lichtbilder belegt – einige Aspekte der gegenwärtigen geoökologischen Problematik des mexikanischen Hochlands. Eine vollständigere Synopse des gesamten Problemfeldes Mensch und Umwelt im Wandel der Zeiten, d. h. seit dem ersten Auftreten des Menschen in dieser Region am Ende der letzten Eiszeit, kann erst dann gegeben werden, wenn alle Untersuchungen der am Mexiko-Projekt engagierten Forscher ausgewertet sein werden.

Abb. 24: Ixtaccihuatl (zu deutsch: die liegende weiße Frau) wird immer mehr zu Freizeit und Sport „in Anspruch" genommen.