

**Sonderdruck aus:**  
**REGENSBURGER GEOGRAPHISCHE SCHRIFTEN**

Herausgegeben von  
**Klaus Heine, Karl Hermes, Johannes Obst**

---

Schriftleitung:  
**Martin Hartl**

**Heft 19/20**

**MARTIN HARTL und WILLI ENGELSCHALK (Herausg.):**

**GEOGRAPHIE**

**Naturwissenschaft und Geisteswissenschaft**

**Festschrift**

**für**

**INGO SCHAEFER**

**1985**

Institut für Geographie an der Universität Regensburg

Selbstverlag



# Neue absolute Daten zur holozänen Gletscher-, Vegetations- und

## Klimageschichte zentralmexikanischer Vulkane

KLAUS HEINE, Regensburg

### 1. Einleitung

Über die holozäne Gletscher-, Vegetations- und Klimageschichte Zentralmexikos ist in jüngster Zeit wiederholt publiziert worden (vgl. HEINE 1984 a; OHNGEMACH & STRAKA 1983; WHITE et al. 1984). Eine Holozän-Chronostratigraphie, die eine Untergliederung des Holozäns gestattet, konnte bisher jedoch noch nicht erarbeitet werden (BRADBURY 1982). Es fehlt an detaillierten, durch  $^{14}\text{C}$ -Daten hinreichend abgesicherten regionalen Chronostratigraphien.

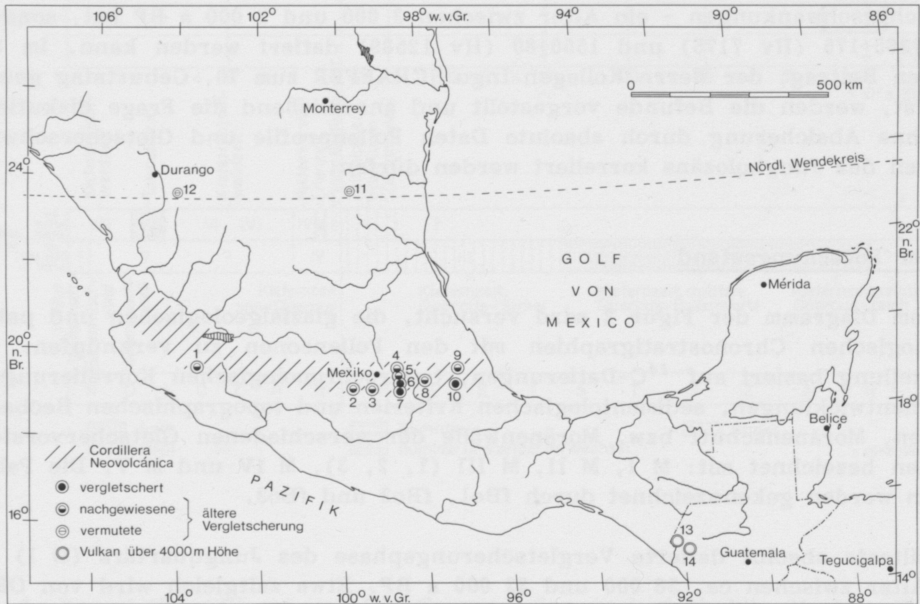


Fig. 1: Übersichtskarte der Cordillera Neovolcánica Mexikos.

1 - Nevado de Colima; 2 - Nevado de Toluca; 3 - Ajusco; 4 und 5 - nördliche Sierra Nevada; 6 - Iztaccíhuatl; 7 - Popocatepetl; 8 - La Malinche; 9 - Cofre de Perote; 10 - Pico de Orizaba (Citláltepetl); 11 - Cerro Peña Nevada; 12 - Bergland von Durango; 13 - Tacaná; 14 - Tajumulco.

Im Rahmen des Mexiko-Projektes der Deutschen Forschungsgemeinschaft wurden in den vergangenen Jahren im Bereich der Cordillera Neovolcánica Mexikos (Fig. 1) Untersuchungen zur jungquartären Gletscher- und Vegetationsgeschichte ausgeführt. Die Ergebnisse, die bisher veröffentlicht wurden, zeigen, daß während des Holozäns verschiedene Gletschervorstöße erfolgten, die größtenteils mit Pollenprofilen korreliert werden konnten. Dabei wurde von der Annahme ausgegangen, daß kühlere und feuchtere sowie auch feuchtere Klimaabschnitte der Pollenprofile mit Gletschervorstößen in Beziehung gesetzt werden können (vgl. HEINE 1984 a + b; OHNGEMACH & STRAKA 1983).

Für das Holozän sind - abgesehen von den Gletschervorstößen zwischen ca. 10 000 und 8 500 a BP, die den Übergang von eiszeitlichen zu nacheiszeitlichen Verhältnissen charakterisieren (HEINE & OHNGEMACH 1976) - nur zwei Gletschervorstößphasen nachzuweisen, nämlich um ca. 3 000 bis 2 000 a BP (HEINE 1984 b) und während der Kleinen Eiszeit. Für das Holozän zeigen ausschließlich die Pollenprofile aus dem Krater-Maar des Malinche-Vulkanmassivs eine durch einen *Abies*-Gipfel charakterisierte jungholozäne Klimaschwankung an, die unter Vorbehalt mit dem Gletschervorstöß zwischen 3 000 und 2 000 a BP parallelisiert wird (OHNGEMACH & STRAKA 1983).

Einige neue  $^{14}\text{C}$ -Daten zeigen, daß die Tannenzeit nicht - wie die jungholozänen Gletscherschwankungen - ein Alter zwischen 3 000 und 2 000 a BP hat, sondern auf  $1365 \pm 175$  (Hv 7175) und  $1550 \pm 80$  (Hv 12589) datiert werden kann. Im folgenden Beitrag, der Herrn Kollegen Ingo SCHAEFER zum 70. Geburtstag gewidmet ist, werden die Befunde vorgestellt und anschließend die Frage diskutiert, ob ohne Absicherung durch absolute Daten Pollenprofile und Gletscherschwankungen des Jungholozäns korreliert werden dürfen.

## 2. Der Forschungsstand

In dem Diagramm der Figur 2 wird versucht, die glazialgeologischen und paläopedologischen Chronostratigraphien mit den Pollenzonen zu verknüpfen. Die Darstellung basiert auf  $^{14}\text{C}$ -Datierungen, tephrochronologischen Korrelierungen, Bodenentwicklungen, sedimentologischen Kriterien und topographischen Beobachtungen. Moränenschutt bzw. Moränenwälle der verschiedenen Gletschervorstöße werden bezeichnet mit: M I, M II, M III (1, 2, 3), M IV und M V. Die Paläoböden werden gekennzeichnet durch fBo1, fBo2 und fBo3.

Die älteste absolut datierte Vergletscherungsphase des Jungquartärs (M I) hat ein Alter zwischen ca. 36 000 und 32 000 a BP. Etwa zeitgleich wird von OHNGEMACH & STRAKA (1983) eine kalte und relativ feuchte Phase aufgrund der Pollenanalysen angenommen. Zwischen ca. 27 000 und 16 000 a BP läßt sich für das zentralmexikanische Hochland eine Bodenbildung nachweisen, die um 25 000 a BP die kräftigste Ausbildung erfuhr. An den Vulkanhängen entstanden Andosole auf den vulkanischen Aschen; die höhen- und klimaabhängige Andosolbildung (vgl. MIEHLICH 1974) fällt mit einer Pollenzone zusammen, die als Kiefernzeit mit mittleren *Quercus*-Pollenwerten auf eine trockene (jedoch nicht

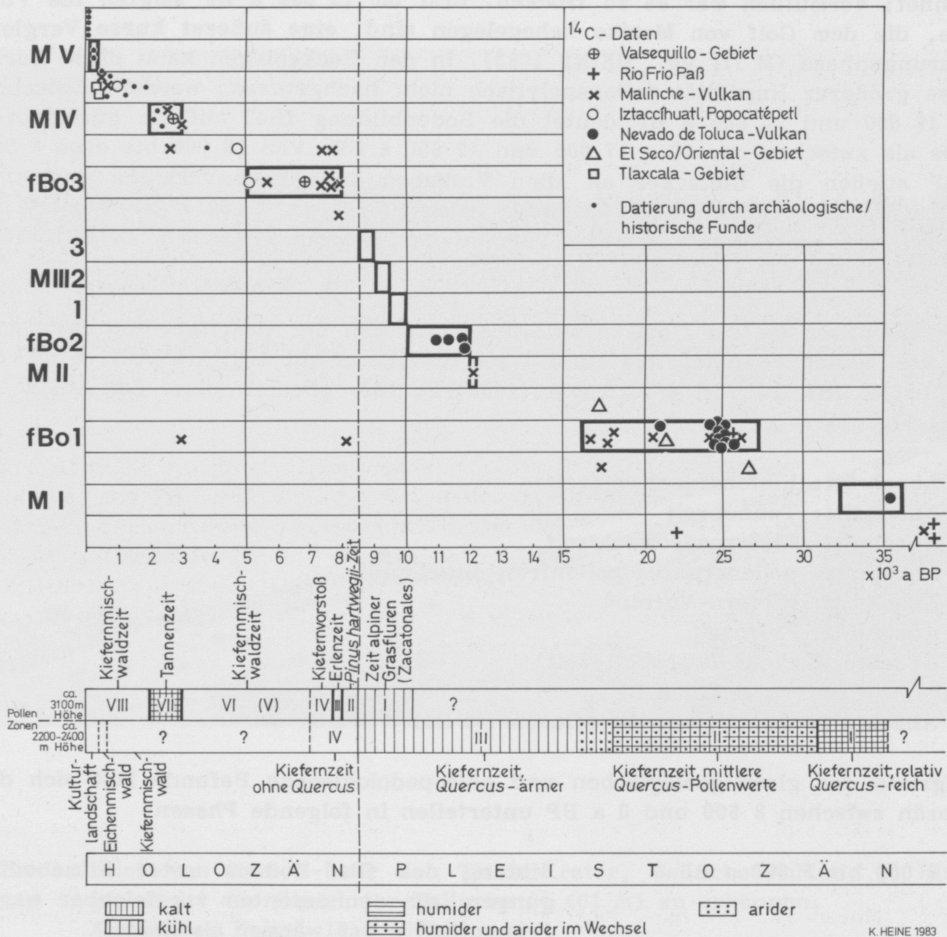


Fig. 2: Korrelations-Diagramm. Die Grenzen der geologisch-klimatischen Einheiten basieren auf Radiokarbon-Daten, tephrochronologischen Korrelationen, Bodenentwicklungen, Pollenanalysen, sedimentologischen Kriterien und der topographischen Situation. Die Pollenzonen beziehen sich auf OHNGEMACH & STRAKA (1983). Moränen bzw. Moränenschutthorizonte der Vergletscherungen sind numeriert: M I, M II, M III (1, 2, 3), M IV und M V; die Paläoböden sind gekennzeichnet durch: fBo1, fBo2 und fBo3.

trockener als heute) und kühle Zeit deutet. Die Andosolbildung bezeugt Klimaverhältnisse, die den rezenten Klimabedingungen ähnlich gewesen sein müssen; erst nach ca. 25 000 a BP wurde es etwas kühler als heute. Das Hochglazial i.e.S. um 18 000 a BP wurde nicht durch größere Vergletscherungen gekennzeichnet; vermutlich war es zu trocken. Erst um 12 000 a BP zeigten die Vulkane, die dem Golf von Mexiko nahegelegen sind, eine äußerst kurze Vergletscherungsphase (M II; vgl. HEINE 1983). In den Beckenlagen kann diese kurze Phase größerer Humidität pollenanalytisch nicht nachgewiesen werden. Zwischen ca. 12 000 und 10 000 a BP deutet die Bodenbildung fBo2 auf ein günstigeres Klima als zwischen ca. 16 - 17 000 und 12 000 a BP. Von 10 000 bis etwa 8 500 a BP stießen die Gletscher an allen Vulkanen vor; zwei Vorstöße und eine Rückzugsphase ist durch Moränenwälle belegt. Erst um 8 500 a BP beginnt im Bereich der zentralmexikanischen Vulkane das Holozän (HEINE & OHNGEMACH 1976; OHNGEMACH & STRAKA 1983).

Pollenanalytisch ist das Holozän zwischen 8 500 und der Gegenwart durchgehend nur vom Malinche-Vulkan aus rund 3 100 m Höhe erfaßt (OHNGEMACH & STRAKA 1983). OHNGEMACH & STRAKA (1983, S. 123) gliedern diese Zeit wie folgt (vgl. Fig. 2):

- 8. Abschnitt: Kiefernmischwaldzeit
  - 7. Abschnitt: Tannenzeit
  - 6. Abschnitt: Kiefernmischwaldzeit
  - (5. Abschnitt: pollenarm bis pollenfrei, Bimslapilli)
  - 4. Abschnitt: Kiefern-Vorstöß
  - 3. Abschnitt: Erlenzeit
  - 2. Abschnitt: *Pinus hartwegii*-Zeit
- 
- 8 500 a BP
- 1. Abschnitt: Zeit alpiner Grasfluren (M III)

Aufgrund der glazialgeologischen und paläopedologischen Befunde läßt sich das Holozän zwischen 8 500 und 0 a BP unterteilen in folgende Phasen:

- |   |   |
|---|---|
| ca. 8 000 bis 5 000 a BP                  | - Bildung des fBo2-Bodens unter Klimabedingungen, die den rezenten vergleichbar waren (vermutlich etwas wärmer als heute)   |
| ca. 3 000 bis 2 000 a BP                  | - Vorstoßphase der M IV-Vergletscherung an den höchsten Vulkanen, Bildung von Blockgletschern und Muren an den weniger hohen Vulkanen La Malinche, Nevado de Toluca und Sierra Negra (Pico de Orizaba-Massiv) |
| Kleine Eiszeit<br>(<1545(1) bis >1850 AD) | - Vorstoßphase der M V-Vergletscherung an den höchsten Vulkanen, Bildung von Blockgletschern und Schutthalde an den weniger hohen Vulkanen.   |

---

1) Der letzte Ausbruch des Pico de Orizaba (Citlältepetl) erfolgte im Jahre 1545 (MÜHLENPFORDT 1969, Bd. 2, S. 30).

### 3. Die Profile des Tlaloc-Kraters am Malinche-Vulkan

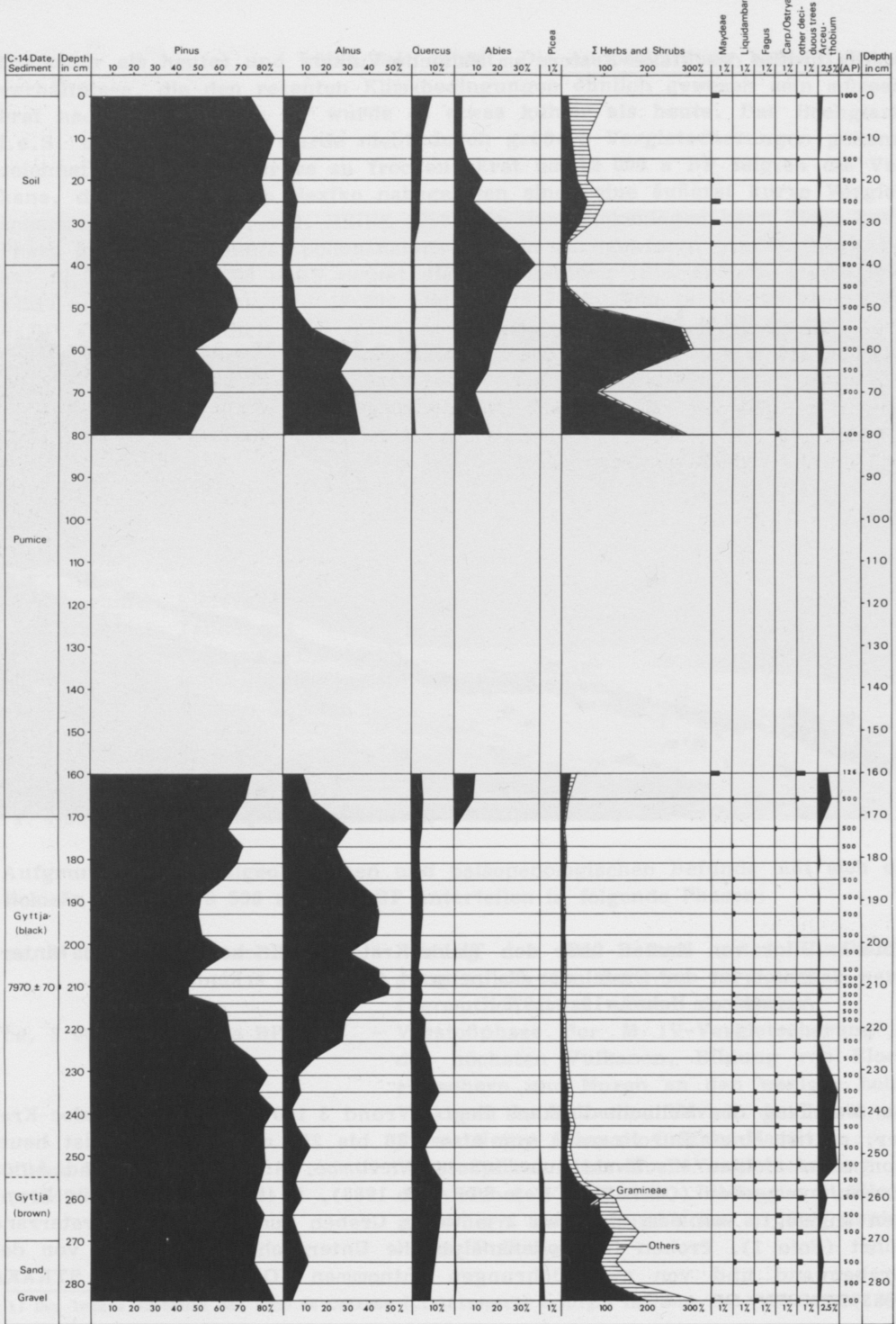


Foto 1: Blick von Westen über den Tlaloc-Krater, Malinche-Vulkan; im Hintergrund ist der Gipfel der Malinche (4 461 m) zu erkennen.

Aufnahme: Heine, 19.3.1975.

Am Westhang des Malinche-Vulkans liegt in rund 3 100 m Höhe der Tlaloc-Krater; er hat einen Durchmesser von etwa 150 bis 200 m. Der Krater ist heute von einem lichten Mischwald aus *Pinus montezumae*, *Abies religiosa* und *Alnus firmifolia* umgeben (OHNGEMACH & STRAKA 1983). Im Krater wurde ein Brunnen angelegt, von dem ein etwa 2 m tiefer Graben zum nördlichen Kraterwand führt (Foto 1). Proben für pollenanalytische Untersuchungen wurden von der Grabenwand und von zwei Bohrungen entnommen (OHNGEMACH & STRAKA 1983).







OHNGEMACH & STRAKA (1983, S. 98-104) geben eine ausführliche Beschreibung der Pollendiagramme, die der genannten Arbeit als Schattenrißdiagramme einmal mit der Baumpollensumme = 100 % als Berechnungsgrundlage unter "n (AP)" (siehe Fig. 3) und auch mit der Landpflanzensumme als Grundlage unter "n (P)" beigegeben sind (vgl. auch OHNGEMACH 1977; OHNGEMACH & STRAKA 1978).

Das Profil (Fig. 3) erfaßt die Grenze zwischen pleistozänen und holozänen Bedingungen bei etwa 256 - 252 cm Tiefe. Als Datum wird etwa 8 500 a BP angenommen (OHNGEMACH & STRAKA 1983; vgl. auch HEINE & OHNGEMACH 1976). Die Basis des Diagramms dürfte bei 9 000 a BP liegen; mit einer Lücke zwischen 150 und 90 cm reicht das Diagramm bis in die Gegenwart, da bei 0 cm *Eucalyptus*-Pollen gefunden wurden, *Eucalyptus* aber erst in jüngster Vergangenheit in größerer Menge nach Mexiko eingeführt wurde (OHNGEMACH & STRAKA 1983, S. 101). Die Tannenzeit in 50 bis 30 cm Tiefe ist bisher mit den Moränen M IV gleichgesetzt worden.

### Erläuterungen zur Figur 3:

Pollendiagramm Tlaloc I, Baumpollensumme = 100 % als Bezugsbasis.

1. Abschnitt: 284 bis 256 cm, Ende der Zeit alpiner Grasfluren, bis etwa 8 500 vor heute
2. Abschnitt: 252 bis 227 cm, *Pinus hartwegii*-Zeit.
3. Abschnitt: 223 bis 189 cm, Erlenzzeit.
4. Abschnitt: 185 bis 150 cm, Kiefernvorstoß.
5. Abschnitt: 150 bis 90 cm, pollenarm oder pollenleer.
6. Abschnitt: 90 bis 55 cm, Zeit lichter Kiefern-mischwälder.
7. Abschnitt: 50 bis 35 cm, Tannenzeit, um etwa 2 000 vor heute.
8. Abschnitt: 35 bis 0 cm, Kiefern-mischwaldzeit.

Analysen OHNGEMACH

Aus: OHNGEMACH & STRAKA (1983, Abb. 6-11).

Für die folgenden Ausführungen von Interesse sind der VI., VII. und VIII. Abschnitt des Pollenprofils (vgl. die Fig. 3 + 4). OHNGEMACH & STRAKA (1983, S. 103 f.) geben nachstehende Beschreibung, die zitiert wird:

"Der sechste Abschnitt 90 bis 55 cm kann als Zeit lichter Kiefern-mischwälder bezeichnet werden. Die Nichtbaumpollensumme erreicht hohe Werte: 83 bis 306,5 % der Baumpollensumme und 45 bis 75,5 % der Gesamtpollensumme. Unter den Baumpollen führt zwar *Pinus* mit 46 bis 64 % der Baumpollensumme (bzw. 12 bis 31 % der Gesamtpollensumme), wobei immer zu bedenken ist, daß *Pinus* übervertreten ist, aber *Abies* ist häufig mit 9,5 bis 22 % der Baumpollensumme (bzw. 4 bis 7 % der Gesamtpollensumme) und auch *Alnus* mit 13 bis 36 % der Baumpollensumme (bzw. 3,5 bis 18 % der Gesamtpollensumme). Sonst kaum andere Baum- und Strauchpollentypen: *Quercus* 0 bis 0,4 %, *Carpinus/Ostrya* 1 x 0,1 %, *Ericaceae* 1 x 0,1 %. Unter den Nichtbaumpollen ist besonders jener der *Gramineae* zu nennen: 42 bis 73 % der Gesamtpollensumme, sonst nur wenig und regelmäßig *Compositae* und *Arceuthobium* und wenig und unregelmäßig *Cruciferae*, *Caryophyllaceae*, *Chenopodiaceae/Amaranthaceae*, gegen Ende auch *Maydeae*: 2 x 0,1 %.

Die Zunahme von *Abies*-Pollen setzt sich fort, so daß der siebente Abschnitt als Tannenzeit bezeichnet ist (50 bis 35 cm). Offenbar herrschten dichte Tannenwälder mit wenig Unterwuchs. Der Nichtbaumpollen nimmt rasch ab und hat Werte von 8 bis 39,5 % der Gesamtpollensumme oder 8,5 bis 65 % der Baumpollensumme. Es sind im wesentlichen wieder *Gramineae*; der *Maydeae*-Pollen wird häufiger. Weitere seltene Typen: *Compositae* (keine *Artemisia*), *Arceuthobium*, *Cyperaceae*, *Umbelliferae*, *Chenopodiaceae/Amaranthaceae*. Unter den Baumpollen überwiegt zwar der überrepräsentierte *Pinus*-Pollen mit 58 bis 69 % der Baumpollensumme bzw. 42 bis 60 % der Gesamtpollensumme; doch ist der *Abies*-Pollen so häufig (24 bis 38 % der Baumpollensumme bzw. 14,5 bis 35 % der Gesamtpollensumme), daß *Abies religiosa* der häufigste Baum im Gebiet gewesen sein muß. Die Werte von *Abies* sind z. T. höher, als sie in Oberflächenproben aus heutigen Tannenwäldern angetroffen werden. *Alnus* ist viel seltener mit 2,8 bis 4,3 % der Gesamtpollensumme (bzw. 3 bis 5,6 % der Baumpollensumme). Sonst nur noch *Quercus* mit 0,9 bis 1,1 % der Gesamtpollensumme."

"Der achte und letzte Abschnitt entspricht wieder einer Kiefern-mischwaldzeit; doch war der Unterwuchs offenbar nicht so reich wie in Abschnitt 6" (OHNGEMACH & STRAKA 1983, S. 104).

Da die Tannenzeit (siebter Abschnitt des Pollenprofils) aufgrund der palynologischen Untersuchungen der einzigste Abschnitt des mittleren und jüngeren Holozäns zu sein scheint, der eine deutliche Klimaschwankung aufweist - die Bedingungen waren kühler und feuchter -, ist eine absolute Datierung der Tannenzeit von großer Bedeutung für die jüngere Klimageschichte des zentral-mexikanischen Hochlandes. Neben den Proben für die Pollendiagramme wurden verschiedene Profile im Graben des Tlaloc-Kraters untersucht (Fig. 4) und mit den Pollenprofilen korreliert.

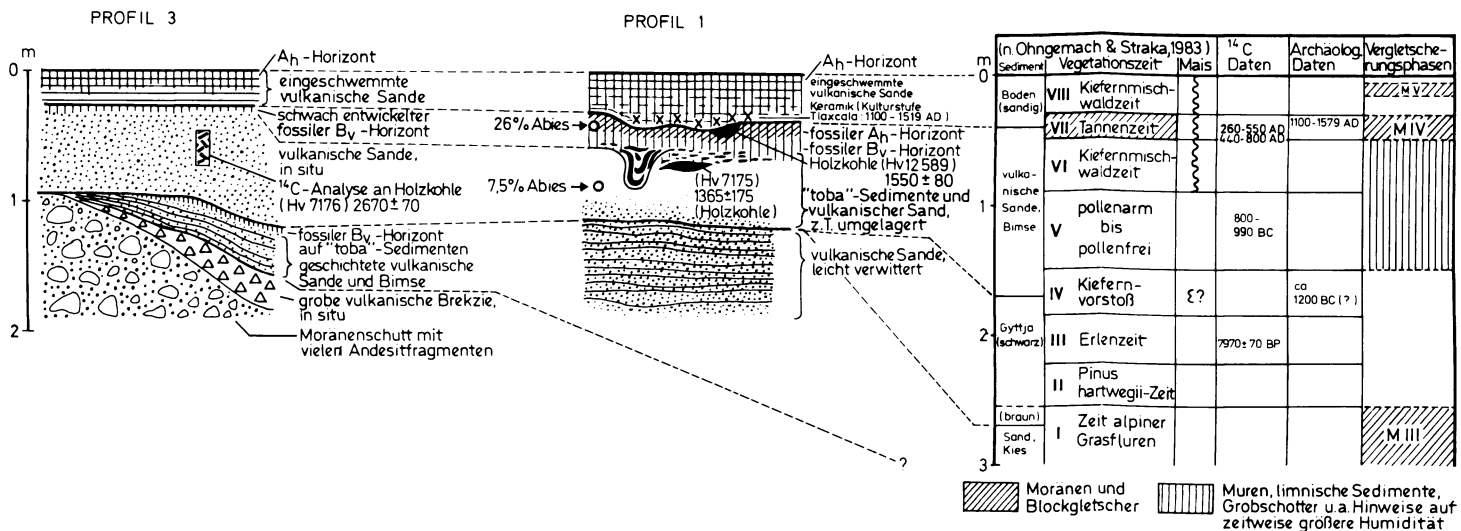


Fig. 4: Profile des Tlaloc-Kraters und Korrelierung mit den Pollenprofilen.

Die sedimentologischen und paläopedologischen Befunde ergänzen die Pollenprofile. Gegen den Kratertrand (Profil 3 der Fig. 4) findet sich in etwa 1 m Tiefe bereits ein Moränenschutt, der vermutlich mit dem Gletschervorstoß der M II-Phase um 12 100 a BP in Beziehung gebracht werden kann. Eine grobe vulkanische Brekzie bedeckt den Moränenschutt; es folgen zum Hangenden geschichtete vulkanische Sande und Bimse, die nach oben in sog. "toba"-Sedimente (HEINE & SCHÖNHALS 1973) überleiten, auf denen eine schwache Bodenbildung stattfand. Diese geschichteten Sedimente lassen sich zum Zentrum des Kraters verfolgen; dort tauchen sie unter der Gyttyja ab. Durchgehend werden die vulkanischen Sande aus vorwiegend Bimstoffen angetroffen, die im Pollenprofil zwischen 40 und 170 cm Tiefe liegen. In Nähe des Kraterandes sind die Bimse in situ aufgefunden worden, zur Mitte des Kraters hin konnten wiederholt Spuren von Umlagerungen vor allem in den obersten Teilen dieser Bimssedimente beobachtet werden. Das Profil 1 (Fig. 4) zeigt die Spuren der Umlagerung am deutlichsten; Rinnen und Linsen mit holzkohle- und humushaltigem Material befinden sich unter dem fossilen Boden, der die Bimssande nach oben begrenzt und der aus der Verwitterung der Bimssedimente hervorgegangen ist. Das Hangende bilden vulkanische graue Aschensande, die von den Rändern des Kraters zur Mitte hin eingeschwemmt worden sind und auf denen sich der rezente Boden entwickeln konnte. In der Nähe des Brunnens, d. h. im Bereich der Pollenprofile, sind ebenfalls deutliche Spuren der Umlagerung der obersten Sedimente zu beobachten; zumindest im Profilschnitt etwa 90 bis 40 cm Tiefe deuten drei dunkelgrau gefärbte Sedimentstreifen auf eine sukzessive Einschwemmung von umgelagertem A<sub>h</sub>-Material hin.

Eine Korrelierung der Profile 3 und 1 (Fig. 4) mit den Pollenprofilen ergibt sich aus dem Aufbau der Profile. Die vulkanischen Sande zwischen den Pollenabschnitten vier bis sieben lassen sich im Graben des Kraters bis zu dessen Rand verfolgen. Die im Profil 1 vorgenommenen Pollenzählungen haben ergeben, daß der *Abies*-Anteil in dem fossilen  $A_h$ -Horizont auf 26 % der Gesamtpollensumme ansteigt; das Pollenspektrum der 500 ausgezählten Pollenkörner aus dem fossilen  $A_h$ -Horizont paßt auch wegen seines geringen Nichtbaumpollenwertes sehr gut in den *Abies*-Abschnitt des Pollendiagramms(1). In dem Teil der vulkanischen Sande, die keine Umlagerungsspuren mehr aufweisen, ist nur noch *Abies* mit 7,5 % der Gesamtpollensumme vertreten; somit bestätigen die Pollenzählungen die sedimentologischen Korrelierungen.

Neben den Vermutungen, daß der pollenarme bis pollenfreie Abschnitt 5 des Pollenprofils nur von kurzer Dauer war, da sonst mehr Pollen eingelagert worden wären (OHNGEMACH & STRAKA 1983, S. 126), deuten auch im Profil 3 (Fig. 4) die primäre Lagerung des vulkanischen Bimsmaterials auf eine recht kurze Zeitdauer der Sedimentation dieses Horizontes, aus dem viele kleine Holzkohle-Stückchen geborgen werden konnten, die zusammen mit den Bimsen subaerisch sedimentiert wurden.

Die zeitliche Stellung der verschiedenen Schichten der Profile (Fig. 4) ergibt sich aus  $^{14}C$ -Altern und archäologischen Befunden. Die Holzkohle-Stückchen, die zusammen mit den Bimslapilli akkumuliert wurden und somit das Alter der Eruption festlegen, haben ein konventionelles  $^{14}C$ -Alter von  $2670 \pm 70$  a BP (Hv 7176) bzw. dendrochronologisch korrigiert von 800 - 990 BC. Zwei  $^{14}C$ -Datierungen wurden an Holzkohleproben vorgenommen, die im unteren und im oberen Teil der Umlagerungsspuren aufweisenden Bimslapilli (mit fossilen  $A_h$ -Horizont) liegen:  $1365 \pm 175$  a BP (Hv 7175) (= 440 - 800 AD) und  $1550 \pm 80$  a BP (Hv 12589) (= 320 - 540 AD). Die Deckschichten (eingeschwemmte vulkanische Sande) führen an der Basis oft im umgelagerten, sandig-schluffigen, humosen Teil Keramik. Die archäologische Bestimmung ergab, daß es sich um Material des Postklassikums (Kulturstufe Tlaxcala) handelt, wofür ein Alter in Betracht kommt, das etwa die letzten 300 Jahre vor der Konquista (1519 AD) umfaßt(2).

Aufgrund der Daten der Tlaloc-Profile fällt die Tannenzeit in das erste Jahrtausend unserer Zeitrechnung zwischen etwa 320 und 800 AD. Ob die Tannenzeit auch noch bis in die Kulturstufe Tlaxcala reicht, kann anhand der vorliegenden Beobachtungen nicht entschieden werden; doch ergeben die Pollenprofile aus dem 16 km entfernten, in 2 200 m Höhe gelegenen See von Acuitlapilco, daß die Tannenzeit älter als 1 000  $^{14}C$ -Jahre ist (OHNGEMACH & STRAKA 1983).

1) Freundlicherweise untersuchte Herr Dr. D. OHNGEMACH die Sedimente des Profils 1 (Fig. 4) auf Pollen. Die Ergebnisse teilte er mir am 16.2.1977 in einem Brief mit.

2) Dr. A. GARCIA COOK nahm am 22.3.1975 freundlicherweise die Bestimmung der Keramik-Funde aus dem Tlaloc-Krater vor.

#### 4. Die Diskussion der Befunde

Der Vergleich der holozänen Vegetationsentwicklung mit dem Alter der Gletschervorstöße ergibt, daß die einzigste, pollenanalytisch ermittelte feuchtere und kühlere Zeit (Tannenzeit) des Mittel- und Jungholozäns nicht mit der einzigsten erkannten mittel- und jungholozänen Gletschervorstößphase zusammenfällt, in der die Gletscher über die Moränen der Kleinen Eisseit vorrückten. Die M IV-Vergletscherung ist auf 3 000 bis 2 000 a BP datiert worden (HEINE 1975, 1984 a + b). Der Befund, daß eine zeitliche Korrelierung von Tannenzeit und M IV-Vergletscherung nicht möglich erscheint, überrascht. Er bedarf einer Erörterung.

Das Pollenprofil des Tlaloc-Kraters zeigt in den Abschnitten 5 und 6, die der M IV-Vergletscherung entsprechen dürften, hohe Werte der Nichtbaumpollensummen, nämlich 83 bis 306,5 % der Baumpollensumme und 45 bis 75,5 % der Gesamtpollensumme (OHNGEMACH & STRAKA 1983, S. 103). Es muß sich um lechtere Kiefern-mischwälder mit reichlich krautigem Unterwuchs gehandelt haben (OHNGEMACH & STRAKA 1983, S. 127). OHNGEMACH (1977, S. 38) denkt an lokale Einflüsse, um die hohen Nichtbaumpollen-Anteile des Abschnitts 6 während des Anstiegs von *Abies* zu erklären. Hohe Nichtbaumpollen-Anteile (vor allem *Gramineae*) sind auch für das ausgehende Pleistozän bis ca. 8 500 a BP charakteristisch (Pollen-Abschnitt 1); darüber hinaus zeigt die Darstellung der Gesamtpollensumme für den Abschnitt 1 und 6 ähnlich geringe Werte an *Pinus*. Dennoch ist kaum anzunehmen, daß beide genannten Pollen-Abschnitte vergleichbar sind. Vielleicht spiegelt sich in der Relation von Baumpollen zu Nichtbaumpollen (bezogen auf die Gesamtpollensumme) im Abschnitt 6 lediglich wider, daß ein Teil des Materials umgelagert wurde.

Es ist weiterhin daran zu denken, daß die Datierung der M IV-Vergletscherung revidiert werden muß. Die M IV-Vergletscherung wurde aufgrund von Moränen an den Vulkangebirgen Pico de Orizaba, Popocatepetl und Istacihuatl ausgegliedert. Blockgletscher im Gipfelbereich von Malinche-Vulkan und Nevado de Toluca werden ebenfalls in die M IV-Vergletscherungsphase datiert. Die Altersbestimmung der Moränen und Blockgletscher erfolgte aufgrund der Datierung von Muren am Malinche-Vulkan, die anhand der tephrostratigraphischen Untersuchungen mit den M IV-Blockgletschern korreliert werden, sowie aufgrund der archäologischen Altersansprache von Blockgletschern des Nevado de Toluca; vor allem jedoch haben korrelierte Sedimente der Beckengebiete, die archäologisch datiert werden konnten, zur Altersansprache der M IV-Moränen geführt. Fossile Böden (fBo3, vgl. Fig. 2) und die Bedeckung der M IV-Moränen mit den jüngsten vulkanischen Popocatepetl-Tephra dienten ebenfalls zur Altersbestimmung der M IV-Vergletscherung (HEINE 1975).

Während die paläopedologischen und tephrostratigraphischen Untersuchungen ein Alter der M IV-Moränen von ca. 2 000 a BP ergaben (HEINE 1975), wiesen die Bemühungen, die M IV-Vergletscherung mittels korrelater Beckensedimente zu datieren, auf ein höheres Alter der M IV-Vergletscherung, nämlich zwischen ca. 3 000 und 2 000 a BP (HEINE 1984 a + b). Die hier vorgelegten Beobach-

tungen vom Tlaloc-Krater in Verbindung mit den Pollenprofilen legen es nahe, die M IV-Vergletscherung mit der Tannenzeit zu korrelieren, wie dies auch bisher getan wurde. Somit muß für die M IV-Vergletscherung ein jüngeres Alter als bisher angenommen werden, d. h. zwischen etwa 320 und 800 AD.

Diese hier vorgeschlagene jüngere Alterseinstufung der M IV-Vergletscherung wird durch ein  $^{14}\text{C}$ -Datum am Ajusco-Vulkan (Fig. 1) bekräftigt; WHITE & VALASTRO (1984, S. 28) führen aus, daß die Gletschervorstöße des Ajusco-Vulkans im Neoglazial erfolgten, nachdem dort die stärkere vulkanische Aktivität beendet war und nachdem der Xitle im Norden des Ajusco Tephra gefördert hatte. Die jüngsten schwarzen Aschen des Xitle haben ein  $^{14}\text{C}$ -Alter von ca. 2 000 a BP (WHITE & VALASTRO 1984).

In Figur 4 wird das Alter der holozänen Vergletscherungen dargestellt. Im Vergleich zu den bisherigen Befunden ergibt sich nunmehr eine Phase zwischen ca. 3 000 a BP und rund 3 - 400 AD mit zweitweise größerer Humidität, die durch Murgänge am Malinche-Vulkan sowie durch limnische Sedimente und fluviale Grobschotter in den Beckengebieten um den Malinche-Vulkan belegt wird. Daran schließt sich die Tannenzeit mit der M IV-Vergletscherung an, die bereits vor 1000 AD beendet gewesen sein muß. Die M V-Vergletscherung der Kleinen Eiszeit beginnt in den Pollenprofilen des Acuitlapilco-Sees vermutlich mit einer erlenreicheren Eichenmischwaldzeit (um 1300 bis 1500 AD), die von dem Pollen-Abschnitt "Zeit der Kulturlandschaft" abgelöst wird (OHNGEMACH & STRAKA 1983), der sich klimatisch kaum interpretieren läßt.

##### 5. Abschließende Bemerkungen

Die Korrelierung der Pollenprofile des Tlaloc-Kraters mit den holozänen Gletschervorstößen an den zentralmexikanischen Vulkangebirgen führt zur genaueren Datierung der Tannenzeit und der M IV-Moränen unter der Annahme, daß die Tannenzeit eine feuchtere und kühlere Phase darstellt und daß Gletschervorstöße unter denselben klimatischen Bedingungen begünstigt werden. Das Zurückschmelzen der Gletscher der hohen mexikanischen Vulkane seit etwa 1850 AD auf kleine Gletscherreste läßt sich kaum mit den für Mexiko bekannten Beobachtungen über Klimaänderungen erklären. Auch die Pollenprofile weisen keine Veränderungen auf, die für die letzten 150 Jahre auf ein rasches Rückschmelzen der Gletscher deuten. Schließlich ist die Tatsache hervorzuheben, daß mit der vertikalen Verschiebung der Schneegrenze um einige hundert Meter seit ca. 1850 AD keine vertikale Veränderung der oberen Waldgrenze verbunden gewesen ist. Es stellt sich somit die Frage, ob positive und negative Gletscherschwankungen im Jungholozän in Mexiko unmittelbar mit den aus den Pollendiagrammen abgeleiteten Klimaänderungen hinsichtlich feuchterer und kühlerer Bedingungen in Zusammenhang gebracht werden dürfen. WHITE (1981) stellt aufgrund der jüngeren Gletscherschwankungen des Popocatepetl und der Iztaccíhuatl fest, daß die Gletscherbewegungen beider Vulkane lokale und regionale durchschnittliche Klimabedingungen über kurze Zeitspannen widerspiegeln und zwar mit nur geringer oder gar keiner zeitlichen Verzögerung;

dadurch sind die Gletscherbewegungen Anzeiger für kurzfristige Klima- bzw. Witterungsänderungen (WHITE 1981, S. 363). Vegetationsänderungen gehorchen anderen Gesetzmäßigkeiten, zumindest darf angenommen werden, daß sie nicht in gleicher Weise wie die Gletscher kurzfristige Änderungen einzelner Klimaparameter repräsentieren (vgl. HOWE & WEBB III, 1983, S. 41 ff.). Daher bleibt die Frage unbeantwortet, ob die Tannenzeit, die auf ca. 320 bis 800 AD datiert werden kann, mit der Bildung der M IV-Moränen zusammenfällt. Erst wenn es gelingt, die M VI-Moränen selbst absolut zu datieren, können weitere Schlußfolgerungen gezogen werden.

Es soll hier aus diesem Grund auch nicht versucht werden, die Tannenzeit bzw. die M IV-Vergletscherung mit Befunden über Vegetations- und Gletscheränderungen aus benachbarten Gebieten in Lateinamerika und Nordamerika zu vergleichen (s. WILLIAMS & WIGLEY 1983). Dennoch ist erwähnenswert, daß FULTON (1982) für die kanadischen Kordilleren ein Früh- und Mittelholozän-Klima beschreibt, das so warm oder wärmer war als das heutige Klima; nur zwischen 3 000 und 2 100 a BP und zwischen 1500 und 1900 AD war das holozäne Klima kühler als heute. Für die kanadische Arktis unterschreiten die rekonstruierten Sommertemperaturen lediglich zwischen ca. 3 000 und 2 000 a BP und zwischen ca. 1400 und 1900 AD die gegenwärtigen Temperaturen (SUDGEN 1982, S. 177).

## 6. Danksagung

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft danke ich für großzügige finanzielle Unterstützung meiner Forschungen in Mexiko unter dem AZ He 722/1 bis 9. Herr Professor Dr. M. A. GEYH führte zahlreiche <sup>14</sup>C-Altersbestimmungen aus; dafür, für viele Diskussionen und für die kritische Durchsicht des Manuskripts danke ich ganz herzlich. Herrn Dr. D. OHNGEMACH bin ich für Pollenanalysen an Tlaloc-Krater-Proben und anregenden Erörterungen dankbar. Schließlich nahm Herr Dr. GARCIA COOK zahlreiche Bestimmungen an Keramik vor, wofür ich ihm zu Dank verpflichtet bin.

## 7. Literatur

- BRADBURY, J. P.: Holocene chronostratigraphy of Mexico and Central America. In: *Striae* 16, 1982, 46-48.
- FULTON, R. J.: Quaternary Geology of the Canadian Cordillera. In: *Paleolimnology of Lake Biwa and the Japanese Pleistocene*, vol. 10, S. Horie (Hrsg.), Takashima 1982, 173-184.
- HEINE, K.: Studien zur jungquartären Glazialmorphologie mexikanischer Vulkane mit einem Ausblick auf die Klimaentwicklung. Wiesbaden 1975.
- HEINE, K.: Ein außergewöhnlicher Gletschervorstoß in Mexiko vor 12 000 Jahren. Ein Beitrag zum Problem der spätglazialen Klimaschwankungen. In: *Catena* 10, 1983, 1-25.
- HEINE, K.: The Classical Late Weichselian Climatic Fluctuations in Mexico. In: *Proceedings of the Second Nordic Symposium on Climatic Changes and Re-*



- lated Problems. N.-A. Mörner & W. Karlén (Hrsg.), Dordrecht 1984 a, 95-115.
- HEINE, K.: Comment on "Pleistocene Glaciation of Volcano Ajusco, Central Mexiko, and Comparison with the Standard Mexican Glacial Sequence" by Sidney E. White and Salvatore Valastro, Jr. In: Quaternary Research 22, 1984, 242-246.
- HEINE, K. u. E. SCHÖNHALS: Entstehung und Alter der "toba"-Sedimente in Mexiko. In: Eiszeitalter u. Gegenwart 23/24, 1973, 201-215.
- HEINE, K. u. D. OHNGEMACH: Die Pleistozän/Holozän-Grenze in Mexiko. In: Münster. Forsch. Geol. Paläont. 38/39, 1976, 229-251.
- HOWE, S. u. Th. WEBB III: Calibrating Pollen Data in Climatic Terms: Improving the Methods. In: Quaternary Science Reviews 2, 1983, 17-51.
- MIEHLICH, G.: Klima- und altersabhängige Bodenentwicklung von Vulkanascheböden der Sierra Nevada de México. In: Mitt. Deutschen Bodenkundl. Gesellsch. 18, 1974, 360-369.
- MÜHLENPFORDT, E.: Versuch einer getreuen Schilderung der Republik Mexiko. (Nachdruck) Graz 1969.
- OHNGEMACH, D.: Pollen Sequence of the Tlaloqua Crater (La Malinche Volcano, Tlaxcala, Mexico). In: Bol. Soc. botan. México 36, 1977, 33-40.
- OHNGEMACH, D. u. H. STRAKA: La historia de la vegetación en la región Puebla-Tlaxcala durante el cuaternario tardío. In: Comunicaciones (Proyecto Puebla Tlaxcala) 15, 1978, 189-204.
- OHNGEMACH, D. u. H. STRAKA: Beiträge zur Vegetations- und Klimageschichte im Gebiet von Puebla-Tlaxcala. Pollenanalysen im Mexiko-Projekt. Wiesbaden 1983.
- SUDGEN, D.: Arctic and Antarctic. A Modern Geographical Synthesis. Totowa, N. J. 1982.
- WHITE, S. E.: Neoglacial to Recent Glacier Fluctuations on the Volcano Popocatepetl, Mexico. In: Journal of Glaciology 27, 1981, 359-363.
- WHITE, S. E. u. S. VALASTRO: Pleistocene Glaciation of Volcano Ajusco, Central Mexico, and Comparison with the Standard Mexican Glacial Sequence. In: Quaternary Research 21, 1984, 21-35.
- WILLIAMS, L. D. u. T. M. L. WIGLEY: A Comparison of Evidence for Late Holocene Summer Temperature Variations in the Northern Hemisphere. In: Quaternary Research 20, 1983, 286-307.

Anschrift des Autors:  
 Prof. Dr. Klaus Heine  
 Geographisches Institut der Universität Regensburg  
 8400 Regensburg