

Z. Geomorph. N. F.	Suppl.-Bd. 24	160–176	Berlin · Stuttgart	Juni 1976
--------------------	---------------	---------	--------------------	-----------

**Schneegrenzdepressionen, Klimaentwicklung,  
Bodenerosion und Mensch im zentralmexikanischen Hochland  
im jüngeren Pleistozän und Holozän**

von

KLAUS HEINE, Bonn

mit 5 Figuren, 3 Photos und 1 Tabelle

**Zusammenfassung.** Für 5 datierte jungquartäre Vergletscherungsphasen der mexikanischen Vulkane wird die Lage der klimatischen Schneegrenze angegeben. Die Klimaentwicklung für das zentralmexikanische Hochland wird in einer Temperatur- und in einer Niederschlagskurve graphisch dargestellt. Die Bodenerosion ist anthropogen bedingt; sie setzt um 800 a BC zusammen mit einer intensiven Landnahme ein; eine Phase der Dekadenz (100–650 a AD) zeigt einen Siedlungsrückgang, ein teilweises Brachfallen des Kulturlandes und keine Erosions- und Akkumulationsprozesse mehr; diese Zeit fällt mit dem Beginn einer trockeneren Klimaphase zusammen (ca. 200–1100 a AD). Eine zweite Periode starker Erosionsvorgänge i. w. S. folgt ab ca. 650 a AD in Verbindung mit einer erneuten Ausweitung des Kulturlandes. Seit ca. 2500 Jahren wird an fast allen Hängen unterhalb rund 3000 m Höhe abgetragen; die Akkumulation des Materials erfolgt in den Beckengebieten; in dieser Zeit ist der wirtschaftende Mensch der bedeutendste, die Morphodynamik steuernde Faktor.

**Summary.** For 5 dated late Quaternary glaciation periods of the Mexican volcanoes the location of the climatic snowline is pointed out. The climatic development for the central Mexican Highland is represented by a temperature and precipitation graph. The soil erosion is due to human influence; this starts at 800 a. B.C. together with an intensive acquisition of land; a period of decadence (100–650 a. A.D.) shows a retreat of settlements, a partial wasting of cultivated areas and not any more erosion or accumulation processes; this time coincides with the onset of a drier climatic period (ca. 200–1,100 a. A.D.). A second period of strong erosional processes (in a wider sense) follows since 650 a. A.D. in association with another extension of cultivated land. Since about 2,500 years nearly all slopes below the level of 3,000 m are attacked by denudation; the accumulation of the waste occurs in the basin areas; in this time the working man is the most important factor controlling morphodynamics.

**Résumé.** On donne la position de la limite des neiges persistantes pour 5 phases glaciaires bien datées du Quaternaire récent ayant affecté les volcans mexicains. L'évolution des climats dans le haut Plateau du Mexique Central est figuré graphiquement par une courbe des températures

et une courbe des précipitations. L'érosion des sols est l'oeuvre de l'homme: elle s'établit vers 800 BC en corrélation avec un important développement des cultures. Une phase de décadence détermine un recul des propriétés, un abandon partiel des terres cultivées et la disparition des processus d'érosion et d'accumulation.

Cette période coïncide avec le début d'un climat plus sec (environ de 200 à 1100 AD). Une seconde période d'érosion renforcée recommence à partir de 650 AD en relation avec un nouveau développement des cultures.

Depuis environ 2500 ans, presque toutes les pentes en dessous de 3000 m ont subi une érosion. L'accumulation du matériel correspondant s'est faite dans les régions de bassin. A cette époque, c'est l'homme et ses industries qui représente le facteur principal régissant la morphodynamique.

### Einleitung

Im Rahmen des Mexiko-Projektes der Deutschen Forschungsgemeinschaft wurden vom Autor in den vergangenen Jahren umfangreiche Geländearbeiten durchgeführt, die zu einer chronostratigraphischen Gliederung des Jungquartärs führten. Dabei wurden sowohl vulkanische Eruptionen und Tephra, wie auch Vergletschungsphasen, Zeiten verstärkter morphologischer Aktivität und Stabilität, Bodenbildungen, Pollenprofile etc. herangezogen, um die Klima- und Landschaftsentwicklung im zentralmexikanischen Hochland zu rekonstruieren. Viele Ergebnisse sind bereits publiziert worden (zuletzt HEINE 1975). In den Jahren 1974 und 1975 wurden ergänzende Forschungen in Mexiko durchgeführt<sup>1</sup>. Über einige Ergebnisse soll im folgenden kurz berichtet werden. Im einzelnen handelt es sich um die Rekonstruktion der jungquartären Schneegrenzdepressionen, eine korrigierte schematische Darstellung der Klimaentwicklung und die Zusammenhänge zwischen Klima, Bodenerosion und Mensch während des Holozäns.

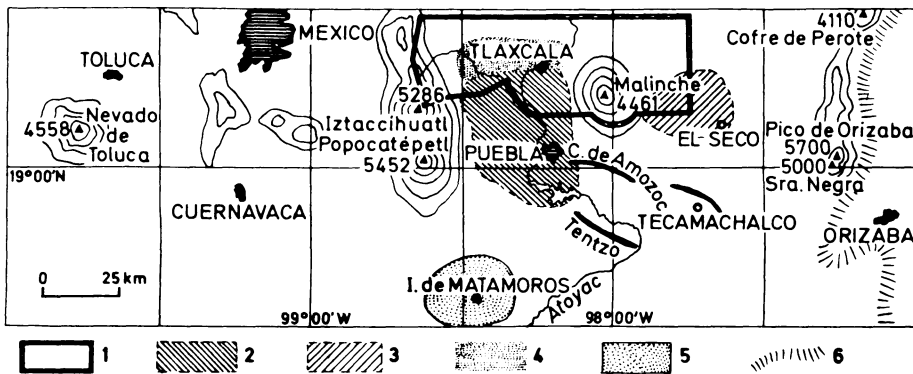


Fig. 1. Übersichtskarte des Untersuchungsgebietes. 1 = Gebiet des archäologischen Projektes von GARCÍA COOK; die im Text und in Fig. 5 angegebenen Siedlungszahlen beziehen sich auf diesen Abschnitt. 2 = zentrales, 3 = östliches, 4 = nördliches, 5 = südliches Beckengebiet; vgl. Text und Fig. 5. 6 = Abfall des zentralmexikanischen Hochlandes zur Golfküstenniederung.

<sup>1</sup> Der Deutschen Forschungsgemeinschaft danke ich für eine großzügige finanzielle Unterstützung, die mir die Forschungen in Mexiko ermöglichten.

### 1. *Jungquartäre Schneegrenzdepressionen in Zentralmexiko*

Die klimatische Schneegrenze liegt heute in Mexiko etwa zwischen 4950 und 5100 m Höhe (LAUER 1973). Es gibt bisher nur wenig Aussagen über die Lage der klimatischen Schneegrenze während früherer Klimaphasen (vgl. JAEGER 1926, WHITE 1962, HASTENRATH 1968). Diese Rekonstruktionsversuche sind unbefriedigend, da sie weder auf einem umfassenden glazialmorphologischen Beobachtungsmaterial fußen noch den Faktor „Zeit“ berücksichtigen.

In Fig. 2 wird zum ersten Mal versucht, aufgrund eines umfangreichen glazialmorphologischen Beobachtungsmaterials die Lage der klimatischen Schneegrenze für verschiedene Vergletscherungsphasen während der letzten 40 000 a BP zu erfassen. Die Rekonstruktion der klimatischen Schneegrenze erfolgt nicht nach einer bestimmten Methode, da – wie mir scheint – kein Verfahren den wirklichen Verhältnissen gerecht wird. Ich habe daher versucht, aus der Fülle des Datenmaterials die mögliche Depression der Schneegrenze zu verschiedenen Zeiten zu ermitteln. Dabei fanden folgende Fakten besondere Berücksichtigung: (a) die heutige Lage der klimatischen Schneegrenze und der Gletscherenden, (b) die Lage der Endmoränen früherer Vergletscherungsphasen, (c) die Berechnung der Firnlinie nach der Methode von H. v. HÖFER (WILHELM 1975) für die verschiedenen Vergletscherungsphasen, (d) die niedrigste Höhenlage von Rundhöckern, glazial transportiertem Gesteinsschutt und gekritzten Geschieben an den Vulkanhängen außerhalb der Einzugsbereiche größerer Talgletscher für die verschiedenen Vergletscherungsphasen; mit Hilfe tephrochronologischer Arbeitsweisen (vgl. HEINE 1975) können selbst Rundhöckerfluren teilweise bestimmten Vergletscherungsphasen zugeordnet werden, (e) die Höhenlage und das Auftreten von Blockzungen (aus schuttreichen Gletschern hervorgegangenen „Blockgletschern“) einerseits und Endmoränen andererseits; die Blockzungen können sich weiter talwärts verschieben als schutfreie Gletscher und somit eine tiefere Lage der klimatischen Schneegrenze vortäuschen, (f) die Höhenlage von Blockgletschern an den kleineren, stark erodierten und während des Holozäns nicht mehr vergletscherten Vulkangebirgen (Nevado de Toluca, Malinche), (g) die durch palynologische Untersuchungen nachgewiesene Depression der oberen Waldgrenze vor rund 9000 a BP um ca. 1000 m (HEINE & OHNGEMACH 1976), (h) die heutigen Klimadaten und die Auswertung verschiedener ein- und mehrjähriger Meßreihen an den hohen Vulkanen, (i) die Höhenlage fossiler Dauerfrostbodenreste am Pico de Orizaba in Bezug zu gleichalten Moränenbildungen und zu den heutigen Klimadaten.

Die in Fig. 2 dargestellten klimatischen Schneegrenzen wurden unter Hinzuziehung der unter (a) bis (i) genannten Fakten und Daten gemittelt; als Beurteilungsmaßstab diente die Zuverlässigkeit einzelner Beobachtungen hinsichtlich deren Ausdeutung. Eine Rekonstruktion der klimatischen Schneegrenzen zwischen den einzelnen Gletschervorstößen ist bisher nicht möglich. Vertikale Verschiebungen der klimatischen Schneegrenze von über 1300 m im Jungquartär zeigen die Höhendifferenzen zwischen den pleistozänen M II- und M III 1 + 2-Vergletscherungen<sup>2</sup> und dem Klimaoptimum im Holozän um ca. 8000 bis

<sup>2</sup> Die Pleistozän/Holozän-Grenze kann in Zentralmexiko auf ca. 9000–8500 a BP datiert werden (HEINE & OHNGEMACH 1976).



gilt auch für die M II-Vergletscherung: am Nevado de Toluca kann die klimatische Schneegrenze in dieser Phase ebenfalls etwas höher gelegen haben.

Für die M I-Vergletscherung konnte die klimatische Schneegrenze nicht rekonstruiert werden, da allein aus der Lage der Endmoränen, die zudem häufig durch Blockzungen vertreten werden können, eine Bestimmung der entsprechenden Schneegrenze für wenig sinnvoll erachtet wird. Vermutlich lag die klimatische Schneegrenze zur M I-Zeit nicht unter 3750 m Höhe.

Aus der sehr unterschiedlichen Lage der klimatischen Schneegrenze zu verschiedenen Zeiten des Jungquartärs ist ersichtlich, wie problematisch eine Rekonstruktion der Schneegrenzdepression beispielsweise für die letzte Eiszeit für einen größeren Raum (Nord-, Mittel- und Südamerika) ist. Ohne die Datierung der rekonstruierten Schneegrenze scheinen die aus ihr hergeleiteten Schlußfolgerungen wenig sinnvoll (vgl. dazu auch HEINE 1974 a).

## 2. Die jungquartäre Klimaentwicklung in Zentralmexiko

Fig. 3 zeigt die aufgrund neuerer Forschungsergebnisse verbesserte Darstellung der Klimaentwicklung für das zentralmexikanische Hochland während der letzten 40 000 a BP. Die Zeit der fossilen Bodenbildung fBo1 wurde von mir (HEINE 1975) zwischen rund 26 000 und 21 000 a BP festgesetzt. Für den Nevado de Toluca lagen bisher keine Daten für den fBo1-Boden vor. BLOOMFIELD & VALASTRO (1974) nennen nun für diesen Boden 11  $^{14}\text{C}$ -Datierungen: 10 Bestimmungen liegen zwischen  $23\,940 \pm 600$  und  $25\,620 \pm 680$  a BP (Tx-1518 bis Tx-1524, Tx-1594, Tx-1596, Tx-1597), eine Datierung ergab  $21\,170 \pm 170$  a BP (Tx-1598). Ein weiterer fossiler Boden wurde am Nevado de Toluca von den genannten Autoren datiert; die Bestimmungen ergaben 4 Werte zwischen  $11\,050 \pm 130$  und  $11\,950 \pm 100$  a BP (Tx-1600 bis Tx-1603). Dieser Boden entspricht zeitlich dem von mir fBo2 genannten Boden der Vulkane im Osten. Durch die Untersuchungen von BLOOMFIELD & VALASTRO (1974) werden meine früheren Ergebnisse kontrolliert und gleichzeitig bestätigt.

Auch für den Malinche-Vulkan liegen weitere  $^{14}\text{C}$ -Bestimmungen vor<sup>3</sup> (vgl. Tab. 1). Sie weisen auf eine feuchtere und etwas kühlere Phase um rund 3000 a BP und auf eine geringere Morphodynamik während der Zeit um 16 000 a BP hin.

Die Vergletscherungsphase M III 3 um ca. 8500 bis 9000 a BP hinterließ schmale Ufer- und Endmoränen, die am Malinche-Vulkan auf der Ost- und Westseite in Höhen über 4000 m angetroffen werden; an den höchsten Vulkanen – wie dem Pico de Orizaba und der Iztaccíhuatl – wurden Reste dieser Moränengruppe in tieferen Lagen (bis ca. 3650 m) gefunden. Es handelt sich um Rückzugsmoränen, die möglicherweise eine geringe Niederschlagszunahme anzeigen.

Die graphische Darstellung der Niederschlags- und Temperaturentwicklung in Fig. 3 erfolgt ohne absolute Angaben. Bisher ist es nicht möglich, die Temperatur- und Niederschlagswerte quantitativ zu erfassen; erst wenn weitere palynologische wie auch paläopedologische Untersuchungsergebnisse vorliegen, wird in

<sup>3</sup> Herrn Professor Dr. M. A. GEYH vom Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung in Hannover danke ich herzlich für die  $^{14}\text{C}$ -Bestimmungen.

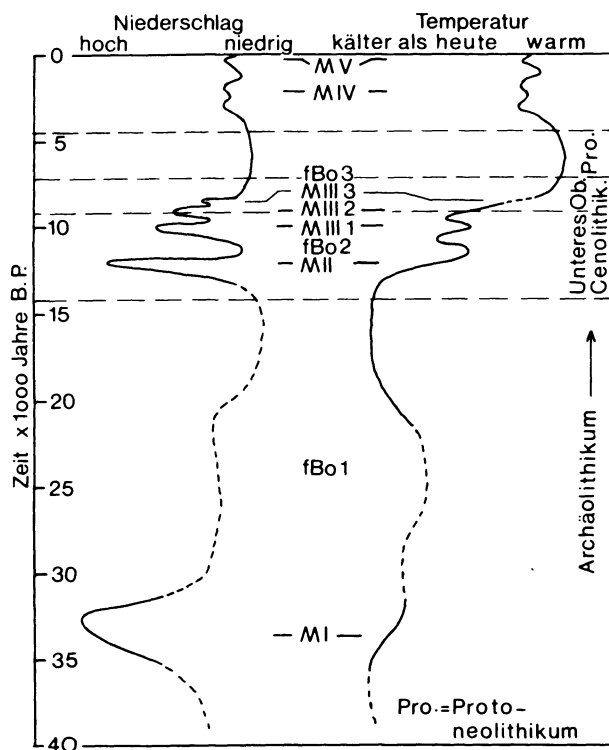


Fig. 3. Jungquartäre Klimaentwicklung (Niederschlag und Temperatur) für das zentral-mexikanische Hochland. Die Unterteilung der Steinzeit erfolgt nach LORENZO 1967.

Verbindung mit den morphologischen Befunden i. w. S. eine differenzierte Aussage möglich sein.

### 3. Versuch einer raum-zeitlichen Differenzierung der Bodenerosion in Zentral-mexiko

Das mexikanische Hochland ist bekannt für seine tiefen Schluchten, die sog. Barrancas (HEINE 1971). Diese werden als Folge des menschlichen Eingriffs in den Naturhaushalt angesehen (Cook 1949). Umfangreiche Untersuchungen ergaben, daß es verschieden alte Barranca-Systeme gibt. Die ältesten Barrancas wurden bereits im Jungpleistozän angelegt, die jüngsten Barrancas bilden sich zur Zeit infolge unsachgemäßer Rodung der Vulkanhänge in Höhen über 3300 m (Photo 1). Die Anlage der tief eingeschnittenen Barrancas, die als Fortsetzung gewaltiger, aus den Gebirgsmassiven austretenden Tälern anzusehen sind, ist oft sehr alt; diese Barrancas haben Terrassen ausgebildet; in ihnen können in höheren Lagen Moränen und glazifluviale Sedimente angetroffen werden; sie haben verschiedene Entwicklungsphasen durchgemacht, die vorwiegend klimatisch gesteuert wurden. Diese Barrancas jedoch sollen hier nicht näher betrachtet werden.

Tabelle 1.  $^{14}\text{C}$ -Alter verschiedener Proben, die bei den Auswertungsarbeiten berücksichtigt wurden.

Proben-Nr.	$^{14}\text{C}$ - Labor- Nr. Hv –	Alter in a BP	dendrochronolo- gisch korrigierter Zeitbereich	Fundort	Datiertes Material
D-8	4241	38 895 $\pm$ 1 200	–	Malinche-Ost	vulkanische Brekzie
D-12	4242	515 $\pm$ 65	–	Malinche-Ost	fluviale Schotter
D-16	4243	7 645 $\pm$ 80	–	Malinche-Ost	fBo3-Boden
D-20	4244	12 060 $\pm$ 165	–	Malinche-West	M II-Hangschutt
D-21	4245	20 735 $\pm$ 460	–	Malinche-West	fBo1-Boden
Pi-4	4757	7 405 $\pm$ 145	–	Malinche-Ost	vulkanische Brekzie
Pi-9	4758	7 690 $\pm$ 100	–	Malinche-Ost	vulkanische Brekzie
AP 250	4883	4 805 $\pm$ 60	–	Paso de Cortés	Popocatepetl- Bims (P2)
D-18	4884	7 715 $\pm$ 80	–	Malinche-Ost	fBo3-Boden
AP 210	5813	3 075 $\pm$ 295	1660–910 a BC	Malinche-Nord	Mure
AP 159	5814	2 200 $\pm$ 70	420–180 a BC	Xochitecatl/ Tlaxcala	Pyramiden- Plattform
AP 132	5815	130 $\pm$ 70	nach 1649 a AD	Atoyac bei Puebla	Flußterrassen- schotter
PUE 78–671	5816	160 $\pm$ 55	nach 1649 a AD	Atoyac bei Texmelucan	Flußterrassen- schotter
PUE 81–671	5817	1 565 $\pm$ 85	310–530 a AD	Atoyac bei Texmelucan	Flußterrassen- schotter
74/5	6741	1 880 $\pm$ 460	460–570 a AD	Puebla	Barranca- Sedimente
74/12	6742	Materialmenge nicht ausreichend		Valsequillo/ Puebla	fluviale Bockensedimente
74/42	6743	2 880 $\pm$ 45	1210–1030 a BC		
74/44	6744	Materialmenge nicht ausreichend		Valsequillo/ Puebla	fBo3-Boden
74/45	6745	6 910 $\pm$ 100	–		
74/28	6746	3 095 $\pm$ 750	2480–500 a BC	Malinche-West	fossiler Boden
74/31	6747	16 765 $\pm$ 550	–	Malinche-West	fossiler Boden (erodierter fBo1)
74/35	6748	17 800 $\pm$ 1 475 1 245	–	Malinche-West	vulkanische Brekzie
75/113	6959	35 600 $\pm$ 2 600 1 800	–	Nevado de To- luca, Nordwest	vulkanische Brekzie





Photo 1. Rezente Barrancabildung am Nordhang des Pico de Orizaba in ca. 3500 m Höhe. Die Schlucht von 350 m Länge entstand in wenigen Tagen nach heftigen Niederschlägen im Jahr 1974. Die Rodung des Hanges erfolgte erst Ende der 60er Jahre.

Von weitaus größerer Verbreitung sind die Barrancas, die keine Verbindung zu den höher gelegenen Gebirgshängen aufweisen, deren Bildung also nicht auf die Entwässerung der Gebirgshänge, sondern auf die der tiefer gelegenen, als Kulturland genutzten Hangbereiche sowie einzelner Kuppen und niedriger Gebirgskämme zurückzuführen ist (Photo 2). Hier stellt sich die Frage, wann und wodurch wurden diese Barrancas gebildet.

Um diese Frage zu beantworten, wurden während fünfmonatiger Feldarbeiten in den Jahren 1974 und 1975 möglichst viele Barrancas im engeren und weiteren Arbeitsgebiet, das das Becken von Puebla-Tlaxcala sowie die im Süden und Osten angrenzenden Bereiche umfaßt, aufgesucht (Fig. 1). Einige 100 Profile wurden in den Barrancas, von denen charakteristische Abschnitte mit einer Gesamtlänge von über 400 km genauer erfaßt wurden, aufgenommen. Erste grobe Korrelationen der Profile waren unter Berücksichtigung der bereits früher erarbeiteten Stratigraphie und bestimmter Leithorizonte schon im Gelände möglich. Bei den späteren Auswertungsarbeiten wurden neben den tephrochronologischen Arbeitsweisen vor allem die Bestimmung der aus den Profilen geborgenen Artefakte und Keramik<sup>4</sup> und ergänzende <sup>14</sup>C-Daten berücksichtigt. Die Auswertungsarbeiten sind noch nicht abgeschlossen, doch liegen bereits erste Ergebnisse vor, über die hier berichtet werden soll.

<sup>4</sup> Herrn Professor Dr. ANGEL GARCÍA COOK und seinen Mitarbeitern danke ich für die Datierung der Artefakte und Keramik sowie für zahlreiche Diskussionen.



Photo 2. Luftschrägaufnahme eines Teils des Cerrijón de Amozoc. Die Hänge sind stark erodiert; harte Tepetate- und Kalkkrusten treten an die Oberfläche (1). Tief eingeschnittene Barrancas (2) gliedern die Hänge. In der Niederung wurde das abgetragene Material abgelagert (3). Das Akkumulationsgebiet links im Bild entspricht den „Beckengebieten“ der Fig. 5; die Hänge werden unterteilt in „Barrancas“ (2) und „unzerschnittene“ Hänge (1) (Fig. 5); letztgenannte sind im rechten Bildteil zu erkennen. Das Profil von Fig. 4 liegt an einem Hangfuß; es entspräche dem Teil des Hanges, der in der Bildmitte zu erkennen ist und der noch eine geringmächtige Auflage jungpleistozäner Sedimente (4) zeigt.

a) *Fluviale Erosion und Akkumulation.* Verschiedene relativ unbedeutende Erosions- und Akkumulationsphasen lassen sich in der Zeit nach der fBo3-Bodenbildung (ca. 8000 bis 5000 a BP) und vor ca. 1500 a BC nachweisen, die jedoch lokal unterschiedlich ausgebildet sind und sich nicht korrelieren lassen<sup>5</sup>. Anhand weniger Artefakte kann eine Akkumulationsphase, der eine Barrancabildung vorausgegangen war, im Süden (nahe Izúcar de Matamoros) um ca. 4000–3000 a BP ermittelt werden. Im Gebiet des Beckens von Puebla-Tlaxcala und von El Seco herrschten  $\pm$  stabile Verhältnisse bis vor ca. 1300 a BC. Erste starke Umlagerungen von Schottern, Kiesen und – an höher gelegenen Hängen (über 3000 m) – von Blöcken erfolgte um 1200 a BC. In den Beckenlagen dagegen zeichnet sich erst später eine Akkumulation gröberer Materials ab, das jedoch im Beckentiefsten von limnischen feinen Sedimenten unterlagert werden kann. Vermehrte Niederschläge in der Zeit zwischen ca. 1300 a BC und 200 a AD aktivierten die morphologischen Prozesse; an den Vulkanen kommen in Höhen über 3000 m, besonders

<sup>5</sup> Folgende Bezeichnungen werden benutzt: AD = Anno Domini, d. h. nach Christi Geburt; BC = Before Christ, d. h. vor Christi Geburt; BP = Before Present, d. h. vor heute in <sup>14</sup>C-Jahren, die nicht identisch mit Kalenderjahren sein müssen.

aber oberhalb der Waldgrenze Schuttlagerungen (Muren) vor; auch an den tiefer gelegenen Hängen findet Abtragung statt; Barrancas, die den fBo3-Boden zerschneiden, mögen in dieser Zeit gebildet worden sein. In ihnen wird anschließend mitunter Material akkumuliert, das später in der Regel wieder ausgeräumt wurde (Fig. 4), so daß nur selten Sedimente aus dieser Zeit in den Barrancas zu finden sind. Wo sie aber auftreten, belegen die Sedimente Barrancas, die bereits vor über 2000 Jahren eine Einschneidung bis zur Sohle der heutigen Schluchten aufweisen.

Im Süden des untersuchten Gebietes bei Izúcar de Matamoros, das ein wesentlich trockeneres Klima aufweist, finden Materialumlagerungen erst wesentlich später statt.

Für die Zeit zwischen ca. 100 und 650 a AD werden keine Erosions- und Akkumulationsvorgänge nachgewiesen. In vielen Profilen wird dieser Zeitabschnitt durch Bodenbildungen verkörpert.

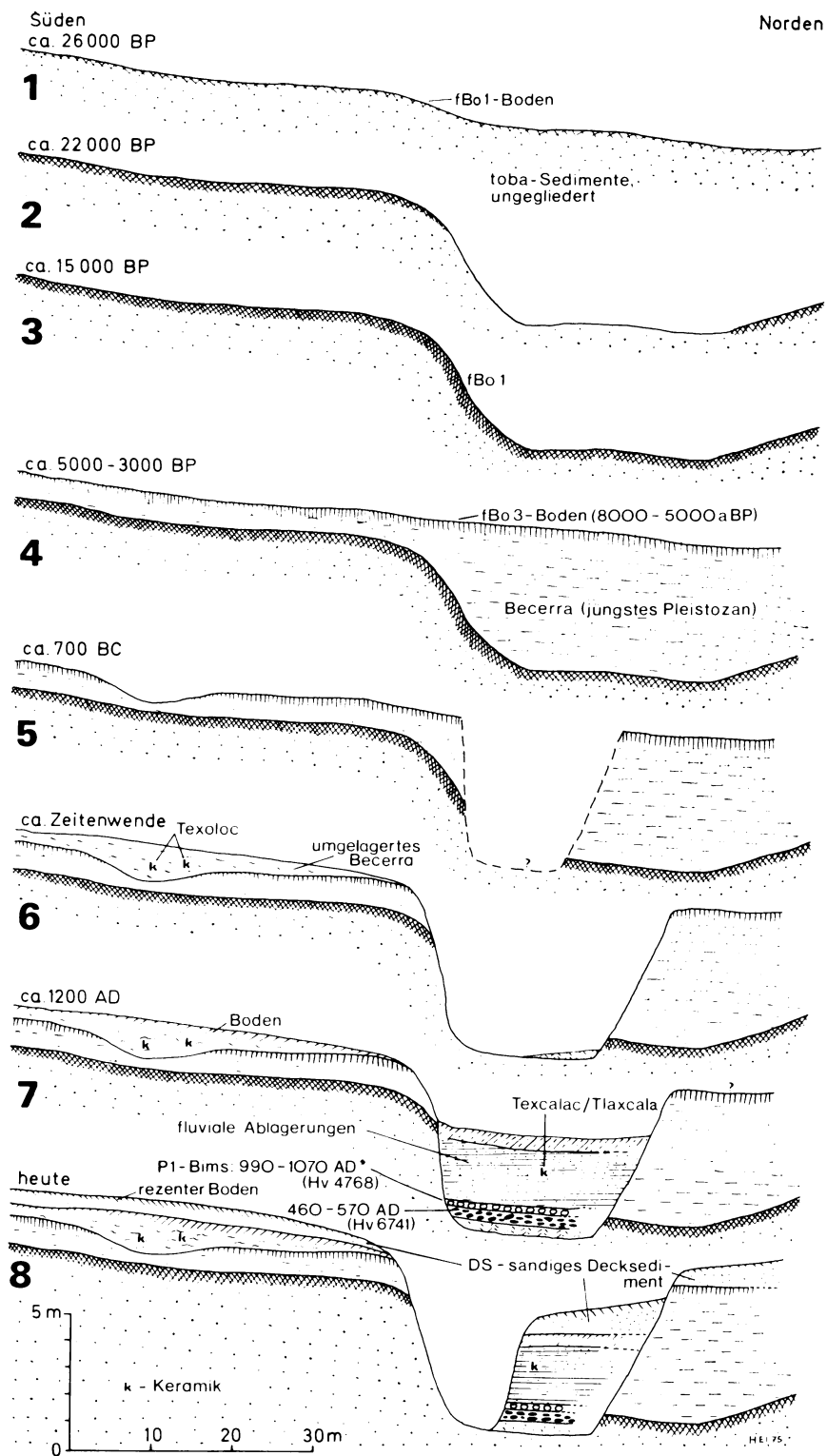
Eine zweite Phase besonders starker Erosionsprozesse mit Barrancabildung zeigt sich zwischen ca. 1100 und 1600 a AD. In dieser Zeit kommt es neben der Barrancabildung auch zur Sedimentation in den Becken und an den unteren Hangbereichen. Höher gelegene Hänge können schon ganz des natürlichen Verwitterungsmaterials (Bodens) beraubt sein, so daß harte Tepetate- und Caliche-Krusten an die Oberfläche treten (Photo 2). Das ist beispielsweise im Gebiet des Cerrión de Amozoc und an den Hängen des Cerro Tentzo der Fall.

An dieser Stelle möchte ich nicht auf weitere Einzelheiten eingehen; das Bemerkenswerte an den Beobachtungen ist, daß die Ergebnisse mit früheren Befunden übereinstimmen bzw. diese ergänzen. Die erste Phase verstärkter Erosions- und Akkumulationsvorgänge fällt in die Zeit der M IV-Vergletscherung i. w. S., die zweite Phase korrespondiert mit der Zeit der M V-Vergletscherung i. w. S. („Kleine Eiszeit“). Die Befunde belegen Klimaschwankungen für das zentral-mexikanische Hochland, die aufgrund methodisch völlig unabhängiger Untersuchungen nachgewiesen wurden, nämlich einerseits durch glazialmorphologisch-tephrochronologische und andererseits durch sedimentologisch-archäologische Forschungen.

*b) Anthropogen gesteuerte Erosions- und Akkumulationsvorgänge?* Es stellt sich die Frage, ob die Erosionsvorgänge klimatisch gesteuert und/oder anthropogen beeinflusst wurden. Die Erörterung dieses Fragenkreises erfordert einen kurzen Abriß der kulturellen Entwicklung des Menschen in dem betrachteten Gebiet.

Im Jungpleistozän war der nomadisierende Mensch in Mexiko Jäger und Sammler. Erst im Oberen Cenolithikum (Fig. 3) vor ca. 9000 bis 7000 a BP lebte er im Hochland zum Teil in kleineren Gruppen als Halbnomade. Die Züchtung von Kulturpflanzen setzt bereits um 8000 a BP ein, erreicht aber erst zwischen 7000 und 5000 a BP größere Bedeutung. Um 4000 a BP bevölkerten bereits viele Gruppen teils als Nomaden, teils als Halbnomaden, aber auch schon als Sesshafte Zentralmexiko. Die sesshafte Bevölkerung betreibt Ackerbau (MORA & GARCÍA COOK 1973).

Seit etwa 1700 (?) a BC ist die Kulturentwicklung für das Arbeitsgebiet bekannt (MORA 1973; GARCÍA COOK 1974). Die Kulturstufe Tzompantepec



(1700?–1200 a BC) weist im nördlichen Arbeitsgebiet<sup>6</sup> nur 14 Siedlungsstellen mit ca. 10–25 Hütten auf. Neben Jagd und Sammeln wurde ein extensiver Brandrodungsfeldbau mit langen Zeiten der Brache betrieben. Die Kulturstufe Tlatempa (1200–800 a BC) zeigt schon 66 Siedlungen; erst in dieser Epoche überwiegt der Ackerbau die Jagd und das Sammeln. Die Siedlungen können bis zu 200 Hütten aus Lehm haben; Feldterrassen sind aus dieser Zeit ebenfalls bekannt, und Gräben am Fuß der bewirtschafteten Hänge belegen erste Versuche, die Bodenerosion zu meistern (GARCÍA COOK 1974). Erst die Kulturstufe Texoloc (800–300 a BC) bringt eine bedeutende Siedlungsausweitung; es werden 186 Siedlungsplätze genannt; dazu kommt eine Ausweitung der Terrassen sowie die Kultivierung weiterer Pflanzen neben Mais, Bohnen, Chili. Dank verbesserter Anbaumethoden (erste Ansätze der Bewässerung) konnte sich die Bevölkerung stark vermehren; große Dörfer sind nicht mehr selten. Die Kulturstufe Tezoquipan (400 a BC bis 100 a AD) zeigt einen weiteren starken Anstieg der Siedlungsplätze, die nun mit 427 angegeben werden (DÁVILA C. 1973). Bemerkenswert sind auch viele Kultstätten, zum Teil von künstlichen Plattformen umgeben (vgl. HEINE 1974 b). Die Anbaumethoden werden verfeinert, künstliche Bewässerung und Chinampas-Anbau in Niederungen sind nachgewiesen. Diesem Höhepunkt der Siedlungs- und Kulturlandausweitung folgt eine Epoche der Dekadenz: die Kulturstufe Tenanyecac (100–650 a AD), in der nur noch 185 Siedlungen nachgewiesen werden. Anbau und Bevölkerungszahlen gehen stark zurück. Die Gründe dafür vermögen die Archäologen bisher nicht zu nennen (GARCÍA COOK & ABASCAL M. 1973). Bemer-

---

Fig. 4. Entwicklung einer Barranca am Westhang des Cerro San Pablo ca. 8 km nördlich von Puebla. Das Profil liegt am Hangfuß einer kleinen Kuppe und ist ein Beispiel für die differenzierte Barrancabildung.

(1) Ungegliederte Hangfläche vor ca. 26 000 a BP.

(2) Bildung des fBo1-Bodens, gleichzeitig geringe Erosion.

(3) Während der letzten Kaltzeit unter trockenen und kühlen Klimaverhältnissen keine Abtragung; die geringe Verwitterung bewirkt ein unterschiedliches Alter des fBo1-Bodens (in dem Tälchen ist der Boden jünger als auf der Hangfläche).

(4) Ablagerung der Becerra-Sedimente im jüngsten Pleistozän unter recht feuchten (und noch kühlen) Klimabedingungen bis ca. 8500 a BP. Anschließend Bildung des fBo3-Bodens während des holozänen Klimaoptimums.

(5) Vor 700 a BC beginnt die Abtragung auf den Hängen des Hügels; ob zur gleichen Zeit eine Barranca gebildet wurde, ist ungewiß.

(6) In der Zeit zwischen 700 a BC und der Zeitenwende erfolgt verstärkte Materialumlagerung an den Hängen; die höher gelegenen Hangteile werden stark erodiert; am Unterhang findet teilweise etwas Akkumulation statt (umgelagertes Becerra). Barrancas schneiden sich ein.

(7) Um 100 a AD hört die Erosion auf; später wird die Barranca teilweise mit Sedimenten aufgefüllt; die Auffüllung der Barranca am Hangfuß weist auf erneute Abtragung der oberen Hangteile während der Texcalac/Tlaxcala-Zeit hin.

(8) Nach ca. 1200 a AD wird fast im gesamten Untersuchungsgebiet in den Becken ein äolisches Decksediment abgelagert (AEPLI 1973); eine erneute Barrancabildung entfernt die älteren Sedimente und vergrößert die Barrancasysteme am Cerro San Pablo. Während der vergangenen 100 Jahre wurde die Barranca nicht wesentlich vergrößert (Ergebnis der Auswertung einer genauen Karte von H. DE ROSENZWEIG aus dem Jahre 1869).

\* = Die Datierung des P1-Bimses (Popocatepetl-Eruption) geht auf einen Holzkohlefund im Bereich der Sierra Nevada zurück (MIEHLICH 1974).

<sup>6</sup> Die nachfolgenden Angaben beziehen sich auf das nördliche Arbeitsgebiet (vgl. Fig. 1).

kenswert ist die Feststellung, daß in dieser Epoche schon alle Formen der künstlichen Bewässerung bekannt sind. Nach dem Tenanyecac folgt die Kulturstufe Texcalac (650–1100 a AD); die Siedlungsdichte nimmt wieder zu; 253 Plätze werden genannt, zum Teil mit über 2000 Bewohnern. Auch die Anbaufläche erfährt eine Ausweitung. In der letzten Kulturstufe vor der Conquista, dem Tlaxcala (1100–1519 a AD), nimmt die Siedlungsdichte wieder ab; 136 Siedlungen mit 100 bis 1500 Bewohnern werden nachgewiesen. Auch die Anbaufläche scheint etwas zurückzugehen.

c) *Die Bodenerosion als Ergebnis der Auseinandersetzung des Menschen mit seiner Umwelt.* In Fig. 5 sind die Befunde tabellarisch zusammengestellt. Es fällt auf, daß eine feuchtere Klimaphase mit einer Ausweitung des Anbaus zusammenfällt, eine trockenere Klimaphase mit einem Rückgang der Siedlungsdichte und des Anbaus. Die erste Phase besonders hoch entwickelter künstlicher Bewässerung fällt in die Tenanyecac-Epoche, eine Zeit, die im Vergleich zur vorangegangenen Kulturstufe trockener gewesen ist. Weiterhin fällt auf, daß die feuchtere Klimaphase um 1300 a BC oder schon etwas früher einsetzte; die erste wirkliche Ausweitung der Siedlungen und des bewirtschafteten Landes erfolgte aber erst nach ca. 800 a BC. Mit dieser „Landnahme“ fällt auch die erste Phase verstärkter Erosion an den Hängen und die Akkumulation in den Beckengebieten zusammen. Weder Erosion noch Akkumulation zeigt die trockenere Klimaphase zur Zeit der Tenanyecac-Epoche, die durch eine Verringerung des bewirtschafteten Kulturlandareals bei gleichzeitiger Verbesserung der künstlichen Bewässerung und durch einen Rückgang der Bevölkerungszahlen gekennzeichnet wird. Mit der erneuten Siedlungszunahme und Kulturlandausweitung setzt auch wieder die Erosion bzw. Akkumulation ein (Texcalac); dies geschieht zuerst im Süden des untersuchten Gebietes, und zwar noch vor der zweiten feuchteren Phase. Im engeren Arbeitsgebiet fällt die Erosions- und Akkumulationsphase mit feuchteren Klimaverhältnissen zusammen, die seit der Tlaxcala-Epoche herrschen.

Werden die Erosions- und Akkumulationsvorgänge für bestimmte Reliefteile gesondert betrachtet (Hänge, Hang-Barrancas, Beckengebiete, vgl. Photo 2), so können weitere Differenzierungen vorgenommen werden. Es zeigt sich beispielsweise, daß die flächenhafte Abtragung zuerst die oberen Hangbereiche erfaßt; später folgten dann die tieferen Hangteile. Tezoquipan-Siedlungen sind für Gebiete nachgewiesen, die später bereits nicht mehr besiedelt werden konnten, da infolge der Erosion nur noch harte Tepetate- und Kalkkrusten an der Oberfläche anstanden. In der feuchteren Phase um 1300 a BC–200 a AD wurden ältere Barrancas an den Hängen teilweise verschüttet; gleichzeitig gelangten die Sedimente aber auch in die Beckengebiete, wo sie flächenhaft abgelagert werden konnten. Diese erste Phase intensiver morphologischer Prozesse übertrifft an Quantität alle späteren Vorgänge.

Ohne auf weitere Einzelheiten einzugehen, möchte ich abschließend die Frage nach den auslösenden Faktoren der Erosionsprozesse i. w. S. beantworten. Da die Ausweitung des Kulturlandes später einsetzte als die Feuchtphase und da die Barrancabildung bzw. die Erosionsprozesse mit der Ausweitung des Siedlungslandes einhergehen, ist als primär auslösender Faktor die Rodung und die Anlage von Feldern für die Erosionsvorgänge anzusehen. Das gilt sowohl für die erste wie

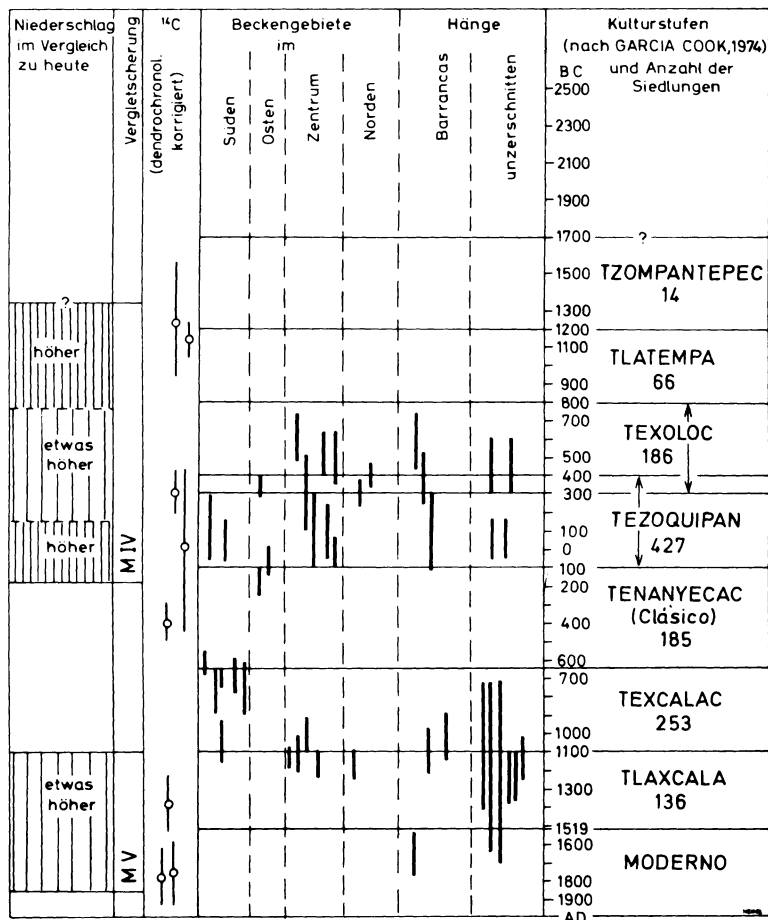


Fig. 5. Schematische Darstellung der Erosion i. w. S. in Raum und Zeit. Die fetten senkrechten Linien kennzeichnen archäologisch datierte Sedimente, die als korrelierte Ablagerungen von Erosionsvorgängen anzusehen sind. In den Beckengebieten geben diese Sedimente Auskunft über die Abtragung an den Hängen. Zwei Zeitabschnitte besonders starker Abtragung lassen sich erkennen, die mit Zeiten einer Landnahme und Siedlungsausweitung zusammenfallen. Einzelheiten im Text.

auch für die zweite Phase der Barrancabildung bzw. der Abtragung. In post-kolumbianischer Zeit sind weitere Phasen der Erosion festzustellen, die jedoch in der Regel nicht mehr durch korrelierte Beckensedimente belegt werden können; daher ist die Erfassung und Datierung nur ungenügend möglich. Das Ausmaß dieser Prozesse kann von Gebiet zu Gebiet sehr unterschiedlich sein. Eine jüngste Phase der Erosion zeichnet sich seit den 60er Jahren an den Hängen der Gebirge in Höhen über 3000 m ab, wo infolge starker Waldrodung die lockeren vulkanischen Sedimente und Böden der Erosion schnell zum Opfer fallen (Photo 1).



Die Untersuchungen zur Erosion im mexikanischen Hochland zeigen sehr deutlich, daß infolge des menschlichen Eingriffs in den Naturhaushalt Prozesse in Gang gekommen sind, die die Naturlandschaft bzw. den Naturhaushalt stark verändern können. So kann belegt werden, daß nicht nur die natürliche Vegetation völlig in den Beckengebietern bis in Höhen um 3000 m zerstört wurde, sondern daß darüber hinaus die morphologischen Prozesse stark durch die Veränderung der Böden infolge der Erosion und durch die Absenkung des Grundwasserspiegels beeinflußt wurden. Unter den natürlichen Boden-, Grundwasser- und Vegetationsverhältnissen (vor mehr als 2500 Jahren) wurden häufig flache Muldentälchen gebildet; nach der Zerstörung der Vegetation konnte die Barrancabildung wie auch die flächenhafte Abtragung einsetzen; die Barrancabildung ist nur in stark ausgetrockneten Sedimenten von besonderer Beschaffenheit (HEINE & SCHÖNHALS 1973) bei tief liegendem Grundwasserspiegel möglich (vgl. HEINE 1971).

Aus den Beobachtungen zur Erosion i. w. S. geht hervor, daß bei morphologischen Untersuchungen der Großformenschatz keinesfalls aus den heutigen Erosions- und Akkumulationsprozessen erschlossen werden darf. Vorgänge, wie sie in Mexiko während der vergangenen 2500 Jahre abliefen, sind nur denkbar

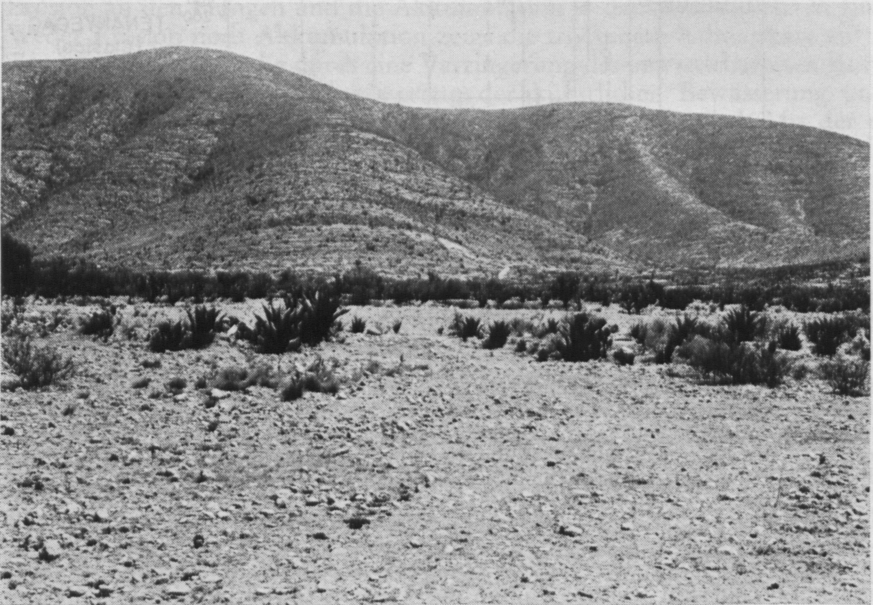


Photo 3. Höhenzug bei Tecamachalco mit schuttbedecktem Pediment (im Vordergrund). Sowohl der Höhenzug wie auch die Pedimentfläche wurden im Holozän von zum Teil mehrere Meter mächtigen äolischen „toba“-Sedimenten und Böden entblößt. Die gegenwärtige Morphodynamik wurde und wird durch die Aktivitäten des Menschen zum größten Teil gesteuert; aus ihr darf nicht auf die Anlage, Weiterbildung und/oder Zerstörung der Großformen während früherer Zeiten geschlossen werden, da die heutigen Prozesse kein Analogon in früheren geologischen Zeiten haben.



im Zusammenspiel von Natur *und* Mensch; sie sind also auf das jüngere Holozän beschränkt und haben keine Übereinstimmung mit Vorgängen geologisch früherer Zeiten. Im Arbeitsgebiet gilt das beispielsweise auch für die Morphodynamik im Bereich ausgedehnter Pedimente (Photo 3).

#### 4. *Schlußfolgerungen*

Für das Jungquartär in Mexiko werden für verschiedene Vergletscherungen klimatische Schneegrenzen ermittelt. Die Schneegrenzdepressionen betragen im jüngsten Pleistozän über 1300 m gegenüber heute; im Holozän kann eine Absenkung der klimatischen Schneegrenze um ca. 500 bzw. 300 m gegenüber heute für zwei kühlere und feuchtere Phasen nachgewiesen werden. Die tiefste Lage der Schneegrenze ist nicht zeitgleich mit der größten letztkaltzeitlichen Eisausdehnung in Nordamerika; daher darf eine vergleichende Rekonstruktion der letzteiszeitlichen Schneegrenze für Nord-, Mittel- und Südamerika nicht anhand der Lage der entsprechenden Endmoränen vorgenommen werden, wie es oft geschehen ist.

Werden holozäne Klimaentwicklung, Siedlungsgang und Bodenerosion im zentralmexikanischen Hochland vergleichend betrachtet, so läßt sich aufzeigen, daß die Bodenerosion i. w. S. anthropogen verursacht worden ist. Verschiedene Phasen der Bodenerosion fallen mit Zeiten der Siedlungsausweitung und Landnahme (Bevölkerungszuwachs) zusammen. Während der letzten ca. 2500 Jahre wurden im untersuchten Gebiet fast alle Hänge unter 3000 m Höhe stark erodiert; in den Becken akkumulierten die Sedimente. Die rezente Morphodynamik (seit ca. 2500 a BP) ergibt sich aus dem Zusammenspiel von Natur *und* Mensch; sie hat in früheren Zeiten kein Analogon und darf daher nicht mit dem Großformenschatz des Gebietes in Zusammenhang gebracht werden.

#### Literatur

- AEPPLI, H. (1973): Barroböden und Tepetate. Untersuchungen zur Bodenbildung in vulkanischen Aschen unter wechselfeuchtem gemäßigttem Klima im zentralen Hochland von Mexiko. – Diss. Fachbereich Umweltsicherung Univ. Gießen, 172 S., Gießen.
- BLOOMFIELD, K., & S. VALASTRO (1974): Late Pleistocene Eruptive History of Nevado de Toluca Volcano, Central Mexico. – Geol. Soc. Amer. Bull. **85**: 901–906, Washington.
- COOK, S. F. (1949): Soil Erosion and Population in Central Mexico. – Ibero-Americana **34**: 1–86, Berkeley & Los Angeles.
- DÁVILA, C. P. (1973): La fase Tezoquipan (Protoclásico) de Tlaxcala. – Soc. Mex. Antrop., XIII mesa redonda, Jalapa (9.–15. 9. 1973), Arqueología I: 107–115, Mexiko.
- GARCÍA COOK, A. (1974): Una secuencia cultural para Tlaxcala. – Comunicaciones **10**: 5–22, Fundación Alemana para la Investigación Científica, Puebla, Mexiko.
- GARCÍA COOK, A., & R. ABASCAL M. (1973): El „Clásico“ de Tlaxcala, fase Tenanyecac. – Soc. Mex. Antrop., XIII mesa redonda, Jalapa (9.–15. 9. 1973), Arqueología I: 117–126, Mexiko.
- HASTENRATH, S. (1968): Certain aspects of the three-dimensional distribution of climate and vegetation belts in the mountains of Central America and southern Mexico. – Coll. Geogr. **9**: 122–138, Bonn.
- HEINE, K. (1971): Observaciones morfológicas acerca de las barrancas en la región de la Cuenca de Puebla-Tlaxcala. – Comunicaciones **4**: 7–23, Fundación Alemana para la Investigación Científica, Puebla, Mexiko.
- (1974 a): Bemerkungen zu neueren chronostratigraphischen Daten zum Verhältnis glazialer und pluvialer Klimabedingungen. – Erdkunde **28**: 303–312, Bonn.

- HEINE, K.: (1974 b): Sobre la Disposición y Antigüedad de las Terrazas de la Ladera Poniente del Cerro Xochitecatl, Tlaxcala (México). – Comunicaciones 11: 5–6, Fundación Alemana para la Investigación Científica, Puebla, Mexiko.
- (1975): Studien zur jungquartären Glazialmorphologie mexikanischer Vulkane – mit einem Ausblick auf die Klimaentwicklung. – Das Mexiko-Projekt der Dt. Forschungsgemeinschaft VII: 1–178, Wiesbaden.
- HEINE, K., & D. OHNGEMACH (1976): Die Pleistozän/Holozän-Grenze in Mexiko. – Münster. Forsch. Geol. Paläont., im Druck.
- HEINE, K., & E. SCHÖNHALS (1973): Entstehung und Alter der „toba“-Sedimente in Mexiko. – Eiszeitalter u. Gegenwart 23/24: 201–215, Öhringen.
- JAEGER, F. (1926): Forschungen über das diluviale Klima in Mexiko. – Pet. Mitt. Erg. H. 190, 1–64, Gotha.
- LAUER, W. (1973): Zusammenhänge zwischen Klima und Vegetation am Ostabfall der mexikanischen Meseta. – Erdkunde 27: 192–213, Bonn.
- LORENZO, J. L. (1967): La etapa lítica en México. – Dept. de Prehistoria, INAH, Publ. 20: 1–49, Mexiko.
- MIEHLICH, G. (1974): Stratigraphie der jüngeren Pyroklastika der Sierra Nevada de México durch schwermineralanalytische und pedologische Untersuchungen. – Eiszeitalter u. Gegenwart 25: 107–125, Öhringen.
- MORA, R. (1973): El Preclásico de Tlaxcala: fases Tzompantepec, Tlatempa y Texoloc. – Soc. Mex. Antrop., XIII mesa redonda, Jalapa (9.–15. 9. 1973), Arqueología I: 97–106, Mexiko.
- MORA, R., & A. GARCÍA COOK (1973): Restos precerámicos y acerámicos en el area. – Soc. Mex. Antrop., XIII mesa redonda, Jalapa (9.–15. 9. 1973), Arqueología I: 83–95, Mexiko.
- WHITE, S. E. (1962): Late Pleistocene Glacial Sequence for the West Side of Iztaccihuatl, Mexico. – Geol. Soc. Amer. Bull. 73: 935–958, Washington.
- WILHELM, F. (1975): Schnee- und Gletscherkunde. – Lehrbuch der Allgemeinen Geographie III/3: 1–434, Berlin & New York.

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. KLAUS HEINE, Geographisches Institut der Universität, Franziskanerstr. 2, D-5300 Bonn.